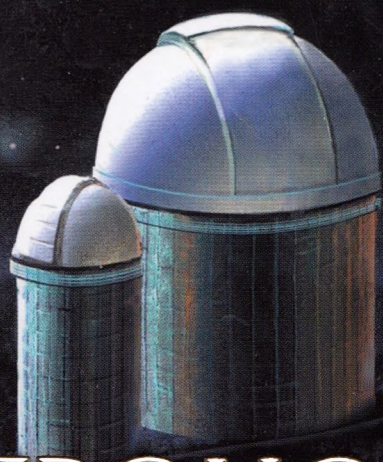


ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ДЛЯ ДЕТЕЙ

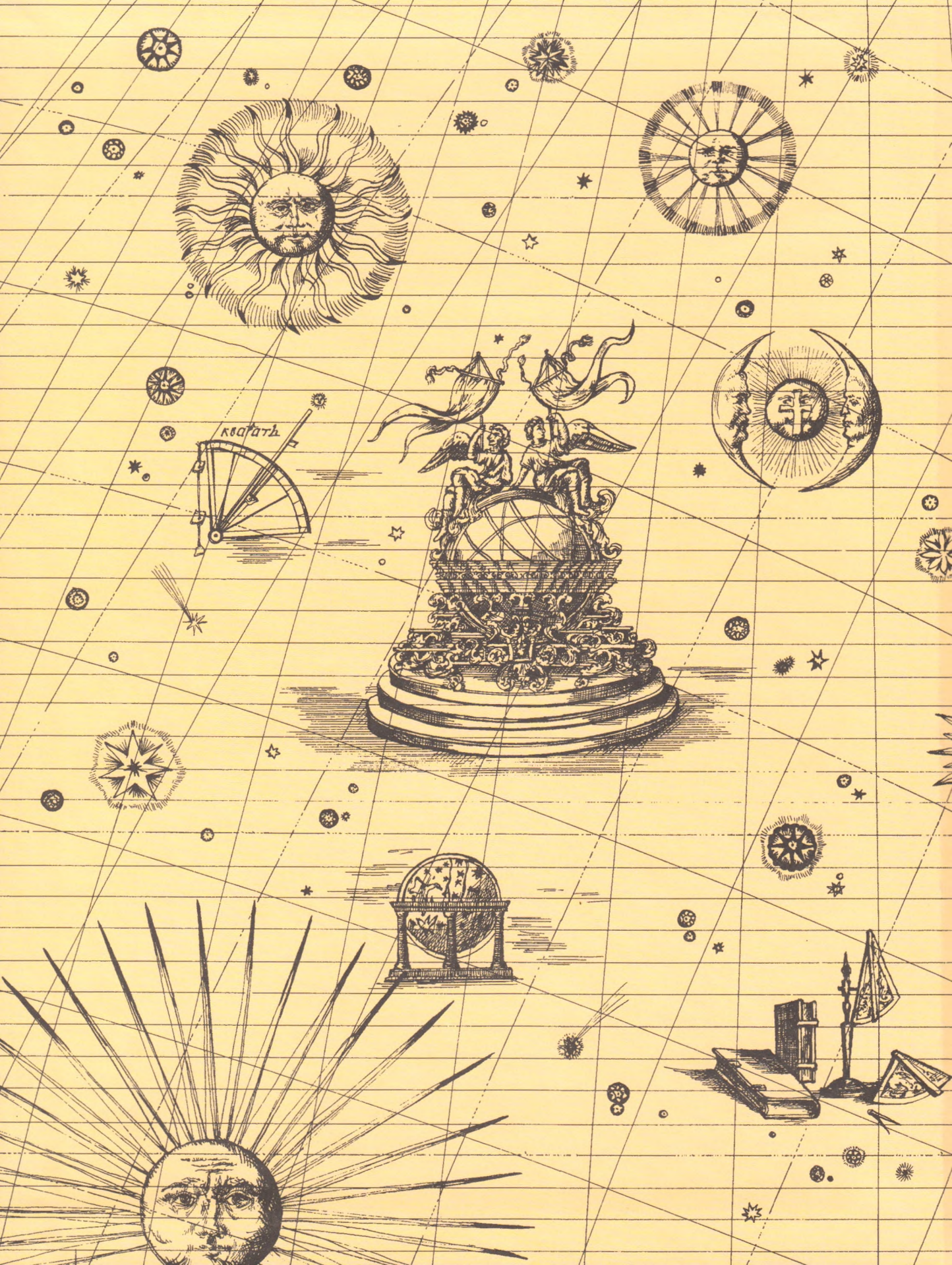
Аванта

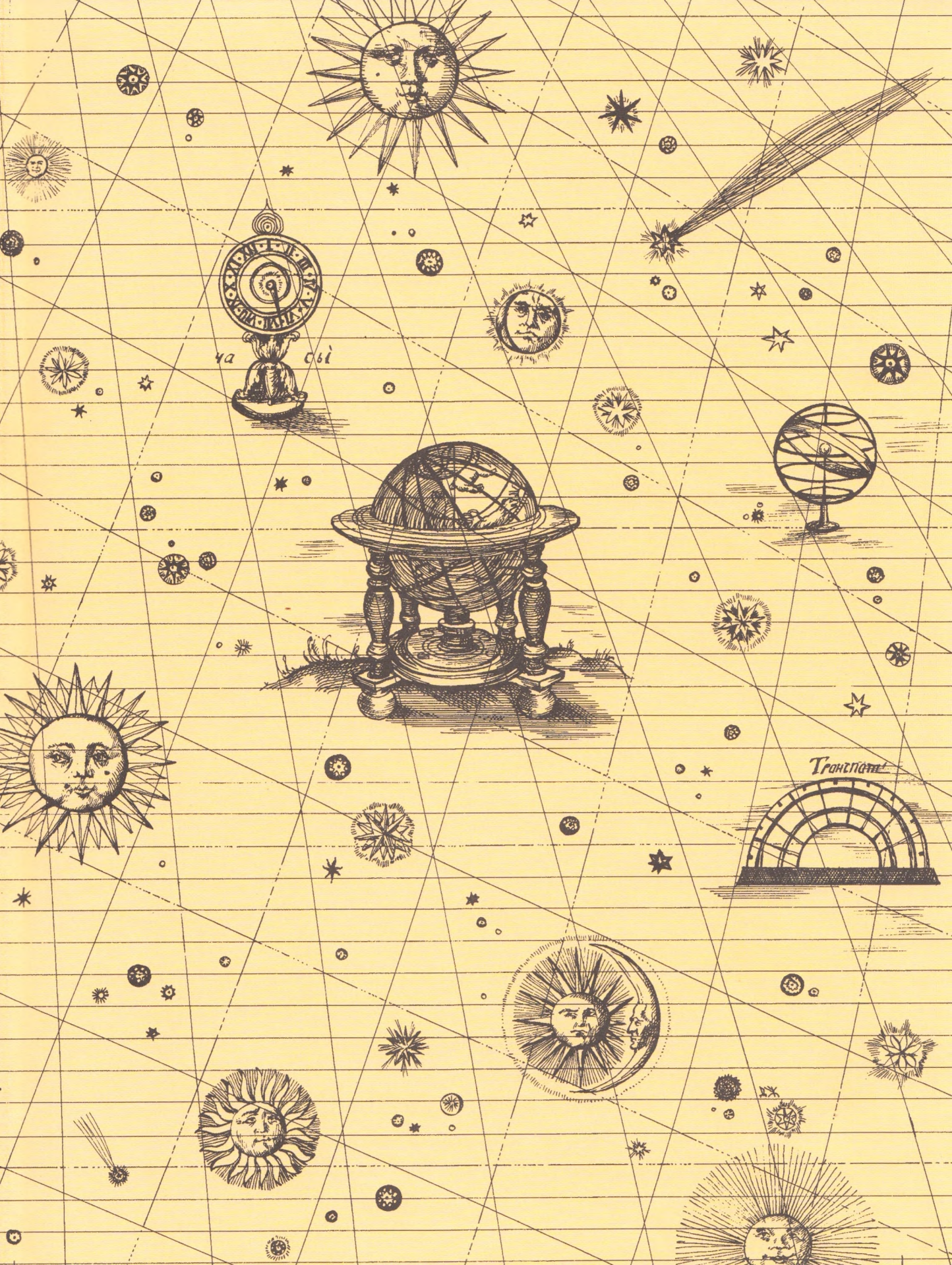


АСТРОНОМИЯ

*Постижение Вселенной, загадки звёзд и галактик,
космос и жизнь*







A

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Академик РАН

Лауреат премии Президента РФ в области образования

Мария Аксёнова

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ

Валентина Чемякина

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ РЕДАКТОРЫ 1-ГО ИЗДАНИЯ ТОМА

Лауреаты премии Президента РФ в области образования

Виктор Володин, Александр Элиович

ОТВЕТСТВЕННЫЕ РЕДАКТОРЫ ТОМА 1-ГО ИЗДАНИЯ ТОМА

Валентин Цветков, Ирина Лапина

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ 1-ГО ИЗДАНИЯ ТОМА

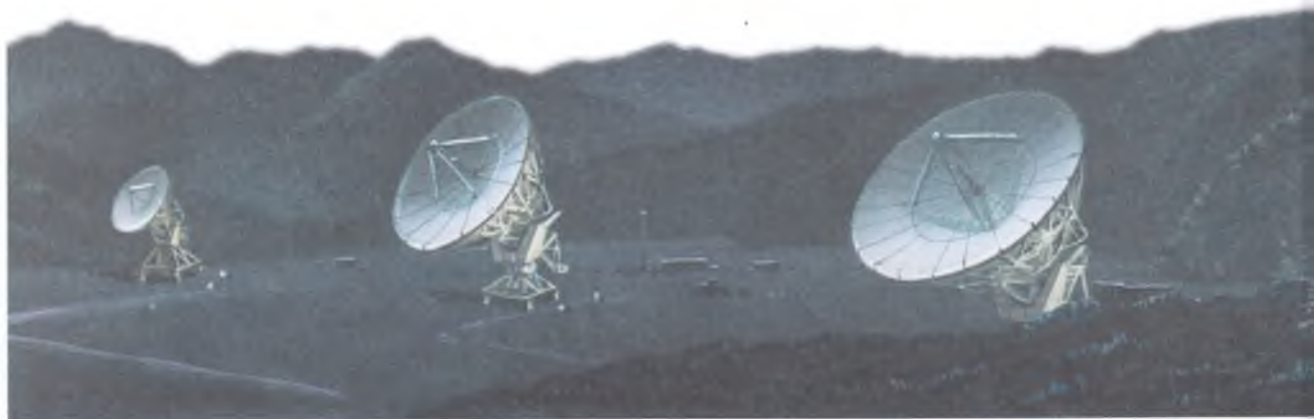
Анатолий Засов, Валентин Цветков

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР 2-ГО ИЗДАНИЯ ТОМА

Радомир Дурлевич

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ 2-ГО ИЗДАНИЯ ТОМА

Анатолий Засов, Владимир Сурдин, Валентин Цветков

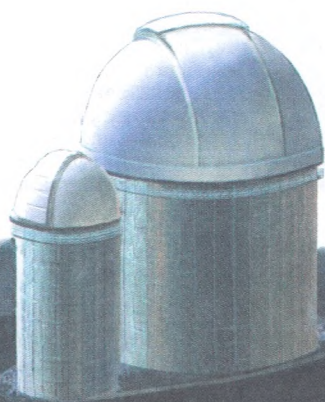


ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ДЛЯ ДЕТЕЙ *Аванта*



АСТРОНОМИЯ

2-е издание, переработанное



Москва
Мир энциклопедий Аванта +
АСТ

УДК 087.5:52
ББК 22.6я2
Э68



INTERNATIONAL CENTRE OF EDUCATIONAL SYSTEMS (ICES)
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ (МЦОС)
CENTRE INTERNATIONAL DES SYSTEMES D'EDUCATION (CISE)
INTERNATIONALES ZENTRUM FÜR AUSBILDUNGSSYSTEME (IZAS)

UNDP
Reg. № 00973
UNESCO
Agr. of 12.11.93
UNIDO
Reg. № 002253
UNEP
Reg. of 24.05.99



МЕЖДУНАРОДНАЯ КАФЕДРА – СЕТЬ UNESCO/ICES
ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Томы «Энциклопедии для детей» рекомендованы Международным центром обучающих систем (МЦОС) и международной кафедрой-сетью ЮНЕСКО/МЦОС в качестве учебного пособия в системах непрерывного образования для всех (continuing longlife education for all).

Томы «Энциклопедии для детей» рекомендованы Департаментом образовательных программ и стандартов общего образования Министерства образования Российской Федерации.

Издано при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России».

Э68 **Энциклопедия для детей.** [Том 8]. Астрономия / ред. коллегия: М. Аксёнова, В. Володин, Р. Дурлевич и др. — 2-е изд., перераб. Москва : Мир энциклопедий Аванта+, АСТ, 2013. — 528 с. : ил.

ISBN 978-5-98986-447-8 (т. 8)

ISBN 978-5-98986-015-9 («Мир энциклопедий Аванта+»)

ISBN 978-5-17-077847-8 (т. 8)

ISBN 978-5-17-065248-8 («Издательство АСТ»)

Авторами тома «Астрономия» являются как профессиональные астрономы, вносящие заметный вклад в науку, так и популяризаторы, много лет прослужившие делу астрономического просвещения. В томе рассказано о драматическом становлении современной астрономической науки начиная с Возрождения. Приводится информация из первых рук о её достижениях и современном состоянии. Книга содержит призыв к увлекательнейшему занятию — самостоятельным астрономическим наблюдениям, а также начальные астрономические понятия и сведения, необходимые для таких наблюдений. Красоты космических глубин раскрываются во впечатляющих фотографиях, многие из которых получены при помощи космических аппаратов.

Книга адресована школьникам старшего возраста, участникам астрономических кружков и любительских коллективов, а также всем, кому интересна древняя и вечно юная наука — астрономия.

УДК 087.5:52
ББК 22.6я2

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93,
том 2; 953004 — литература научная и производственная

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.012280.10.09 от 20.10.2009 г.

ISBN 978-5-98986-447-8 (т. 8)

ISBN 978-5-98986-015-9 («Мир энциклопедий Аванта+»)

ISBN 978-5-17-077847-8 (т. 8)

ISBN 978-5-17-065248-8 («Издательство АСТ»)

© ООО «Мир энциклопедий Аванта+», 2011

© ООО «Издательство АСТ», 2013

К ЧИТАТЕЛЮ

Две вещи наполняют душу
всегда новым и всё более
сильным удивлением
и благоговением... это
звёздное небо надо мной
и моральный закон во мне.

Иммануил Кант

Прекрасное, величественное, бездонное, вечное, загадочное... Всё это о нём — о звёздном небе.

Под звёздным небом гуляют влюблённые и пишут стихи поэты, звёздное небо вдохновляет сочинять музыку и приглашает задумываться над «вечными» философскими вопросами. Древние греки слагали о нём легенды. Современный человек — при всей своей сумасшедшей, наполненной заботами и делами жизни — не согласился бы, чтобы в его мире не было красоты, романтики и величия бескрайнего неба.

Человек и Вселенная — главные вопросы человеческого познания. Из этих двух слов исходит всё, что исследует наука, и к ним же всё возвращается. То, что внутри меня, и то, что вовне, — вечное противопоставление и вечное притяжение. Поэтому небо увлекает и мечтателя, и прагматика, и физика, и лирика.

Показательно, что любое крупное астрономическое событие, будь это солнечное затмение или появление кометы, привлекает к себе внимание не только специалистов или любителей астрономии, но даже тех, для кого астрономия — это просто одна из множества наук, и не более того. И не менее удивителен тот факт, что, как ни в какой другой науке, количество людей разных профессий, влюб-



лённых в астрономию, ничуть не меньше, а намного больше, чем профессиональных учёных. В истории астрономии немало случаев, когда именно любители делали открытия или такие шаги в постижении Вселенной, которые приводили к новому витку развития науки. Изучая Вселенную, мы познаём нас самих, ведь мы являемся её частью.

«Астрономия... возвышает нас над нами самими», — писал в конце XIX в. великий французский математик Анри Пуанкаре. Вселенная хранит еще столько тайн и загадок... Вдохновляйтесь, исследуйте, влюбляйтесь, совершайте открытия!



ВВОДНАЯ СТАТЬЯ

Эта книга посвящена древней и прекрасной науке — астрономии. Она изучает те объекты и явления, которые наблюдаются на небе, а небо испокон веков притягивало внимание людей.

Его красота пробуждает в нас высокие и светлые чувства, дарит радость творческого вдохновения.

Понять природу наблюдаемых тел и явлений во Вселенной, дать объяснение их свойствам, узнать, как они возникают и развиваются, человек хотел всегда. Но людей, профессионально занимающихся астрономией, всегда было немного. Даже сейчас их не более 20 тыс. на всём земном шаре. Конечно, в исследование космоса прямо или косвенно вовлечено значительно большее число людей самых разных специальностей. При этом во все времена было много любителей, для которых астрономия являлась увлечением, иногда настолько сильным, что они впоследствии становились профессионалами.

Для того чтобы заниматься астрономией на современном уровне, одного энтузиазма недостаточно, нужны глубокие профессиональные знания. И всё же есть виды наблюдений, в которых любители до сих пор оказывают существенную помощь специалистам. Так, открытие новых комет, наблюдения переменных звёзд, метеоров, серебристых облаков — традиционные и по сей день действующие сферы применения сил любителей астрономии.

Но любительские наблюдения проводятся не только ради научных открытий. Ведь человек может делать

открытия и для самого себя: наблюдения даже скромными средствами позволяют увидеть то, что недоступно невооружённому глазу.

Минувший век снабдил астрономию совершенной техникой, обеспечивающей прорыв в область невидимого излучения, приходящего из космоса. Сначала было обнаружено космическое радиоизлучение, для которого прозрачна атмосфера Земли, а позднее, с появлением космических аппаратов, астрономы узнали, как выглядит небо в далёком инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне, в рентгеновских и гамма-лучах. Астрономия стала всеволновой. Были открыты новые объекты, о существовании которых никто ранее не подозревал.

Каких бы высот не достигла наука и техника будущих веков, многие фундаментальные открытия останутся заслугой века прошлого и нынешнего. Только один раз можно открыть мир далеких галактик, обнаружить расширение Вселенной и реликтовое излучение, оставшееся нам в наследство от прошлых времён, когда в природе ещё не было звёзд, узнать возраст Солнца и других звёзд, убедиться в существовании нейтронных звёзд и чёрных дыр, обнаружить планеты у других звёзд, узнать о странных свойствах пульсаров и многое другое....

Это не означает, что будущим поколениям осталось только уточнять детали. Нет, чем больше мы знаем, тем чаще соприкасаемся с Неизвестным, так что число проблем, требующих решения, не уменьшается. Например, до сих пор почти ничего не известно о материи, которая не излучает



электромагнитных волн и потому не воспринимается современными приборами, хотя её, по некоторым данным, должно быть во Вселенной даже больше, чем «видимой» материи. Мы очень мало знаем о планетах вблизи других звёзд, плохо представляем себе природу многих наблюдаемых явлений. Астрономии XXI в., по-видимому, предстоит освоить новые окна во Вселенную — нейтринное и гравитационное излучение. Возможно, будут обнаружены и другие, неизвестные пока виды излучения.

Прошли те времена, когда астрономические наблюдения были необходимы, чтобы проложить курс корабля в открытом море, определить продолжительность года, начало и конец того или иного сезона, установить систему счёта времени... Сегодня эти вопросы решаются техническими средствами.

Но современная астрономия отнюдь не оторвана от жизни. Задачи, требующие наиболее высокой точности измерений, и сегодня решаются с привлечением новейших методов астрономии. Например, изучать изменения глобальной структуры Земли, движения материков и отдельных районов земной поверхности помогает радиоастрономия. Датчиком сигналов наиболее точного времени оказались пульсары — нейтронные звёзды. Ориентация космических аппаратов осуществляется по звёздам.

Перспективы развития астрономии связаны со строительством новых гигантских телескопов на Земле и в космосе. Только в космосе возможно обеспечить всеволновые наблюдения, исключить помехи, ограничивающие наземные исследования, создать телескопы с разреше-

нием в миллиардные доли угловой секунды.

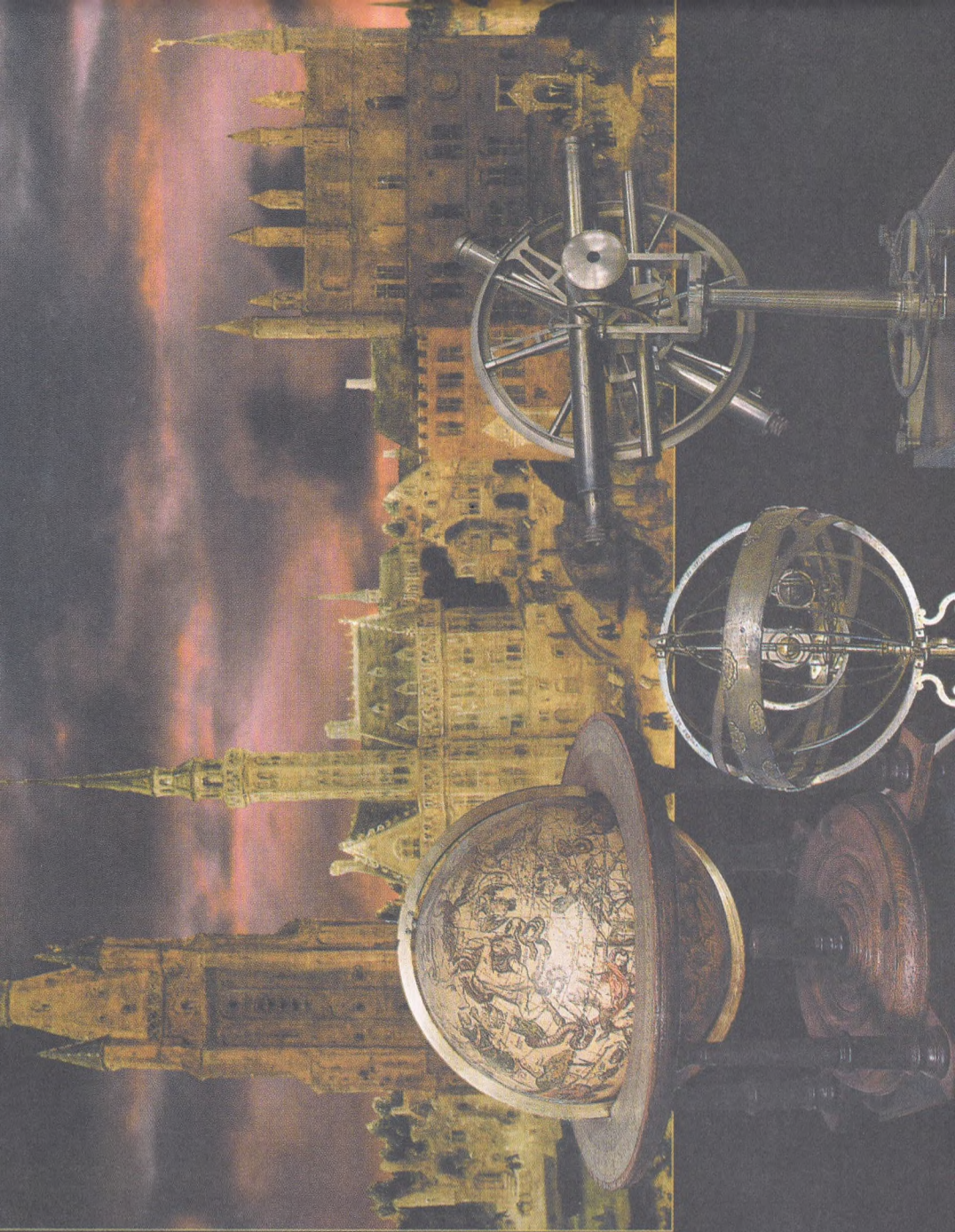
Астрономия — не изолированная наука, она тесно связана с другими областями знания, и прежде всего — с физикой, законы которой справедливы не только на Земле, но и за её пределами. Поэтому объяснения явлений, протекающих в космическом пространстве, разрабатываются на основе физики. Но и сама физика развивается, используя астрономические данные. Нет ни одной фундаментальной физической теории, которая не прошла бы проверку астрономическими наблюдениями. Действительно, астрономы имеют дело с такими температурами и давлениями, с такими мощными полями, которые в земных лабораториях не получить. Многие построения современной физики можно проверить сегодня только на внеземных, астрономических объектах. Законы классической механики и теории относительности, основные положения квантовой физики, физика атомов и элементарных частиц — все они приложимы к астрономическим объектам, и именно на их основе строится современная картина мира.

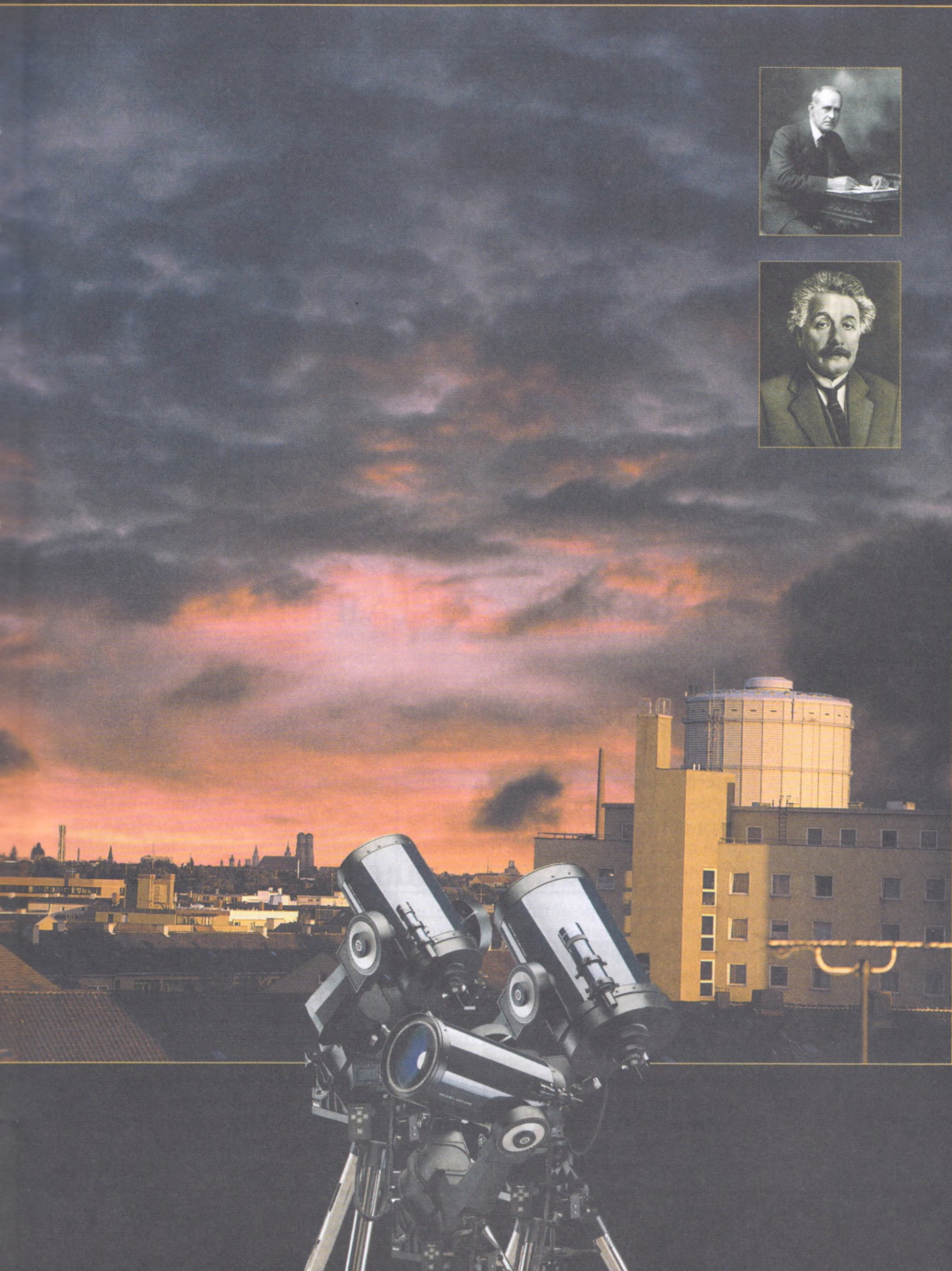
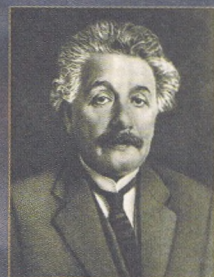
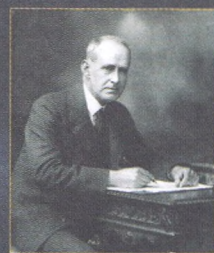
Эту картину, во многом ещё незавершённую, стремились отразить создатели настоящей книги. Некоторые разделы требуют больше, чем лёгкого чтения, для их понимания нужна серьёзная работа. В то же время читатель с любым уровнем образования найдёт здесь для себя интересный и понятный материал.

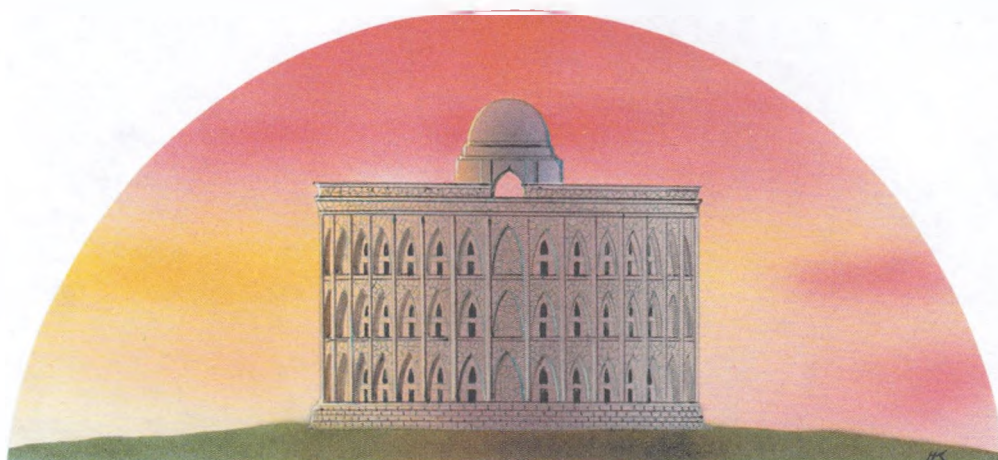
Главная задача этой книги — познакомить читателя с астрономией и заинтересовать его. Астрономия — это такое поле приложения человеческих сил, которое может увлечь любого: и мечтателя, и деятеля, и физика, и лирика.

ЧЕЛОВЕК ОТКРЫВАЕТ ВСЕЛЕННУЮ









МЕЖДУ ДРЕВНОСТЬЮ И НОВЫМ ВРЕМЕНЕМ

ЗАРЯ АСТРОНОМИИ

Как для животных, так и для древнего человека течение времени главным образом представлялось сменой дня и ночи, восходом и закатом солнца и луны. В поисках простых правил, связывающих между собой определение времени по Луне и Солнцу, вавилонские жрецы за несколько веков до нашей эры начали развивать астрономию. На основе своих наблюдений они составили детальные таблицы для предсказания важнейших явлений Солнца, Луны и планет. Они считали, что эти светила движутся по кругу, позже названному греками зодиаком, и разделили его на 12 равных частей.

Традиция научной астрономии восходит к древним грекам, объеди-

нившим наблюдения вавилонских звездочётов с естествознанием и геометрией. Пифагор (VI в. до н. э.) и его последователи представляли Землю в виде сферы и учили, что пути небесных светил можно представить как равномерное круговое движение вокруг Земли. Это учение, математически оформленное Евдоксом Книдским (IV в. до н. э.), было развито Аристотелем (384—322 до н. э.) и просуществовало почти без изменений вплоть до XVI в.

В противовес этим взглядам Гераклید Понтийский (IV в. до н. э.) считал, что Земля вращается вокруг оси, а Меркурий и Венера обращаются вокруг Солнца, которое само движется вокруг Земли. Ещё ближе



к современной гелиоцентрической системе мира подошёл Аристарх Самосский (III в. до н. э.), учивший, что Земля вместе с другими планетами обращается вокруг Солнца. Геоцентрическая система, разработанная в период эллинизма Гиппархом (II в. до н. э.), была завершена Птолемеем (II в.) в его «Альмагесте». Этот классический труд служил основным пособием по астрономии в течение 1400 лет. В нём содержится старейший звёздный каталог, описаны угломерные инструменты той эпохи и открытая Гиппархом прецессия, изложена эпициклическая теория движения Луны и планет, употреблявшаяся вплоть до XVII столетия. Согласно этой теории, планеты равномерно обращаются по окружностям (эпициклам), центры которых, в свою очередь, обращаются вокруг Земли по окружностям большего диаметра (деферентам), причём плоскости тех и других не совпадают. Теория Птолемея позволила с хорошей точностью описать не только видимые пути планет на фоне звёзд, но и вариации их яркости, связанные с изменением расстояния от Земли. Таблицы движения светил, вычисленные по теории Птолемея,

долгие годы удовлетворяли практические потребности людей.

После распада древней культуры путь греческой науки в христианский мир Средневековья пролёг через исламскую цивилизацию. Захватывая новые земли в VII—IX вв, арабы сохраняли культурное наследие завоёванных народов. Багдад стал центром науки. Здесь переводили на арабский греческую научную классику, включая «Альмагест» Птолемея. Затем через Каир эти труды достигли мусульманских университетов Испании. Сохранив основные принципы греческой астрономии, арабские учёные развили технику наблюдений и повысили точность вычисления планетных таблиц. В XII в. труды Аристотеля и Птолемея (в переводе с арабского на латинский) вновь стали доступны христианскому миру, а в XV в. обнаружались и греческие тексты классических трудов. Иоганн Мюллер (1436—1476) из Нюрнберга, известный как Региомонтан, возродил технику астрономических наблюдений. Коренной переворот в представлениях об устройстве Солнечной системы связан с именем Николая Коперника.



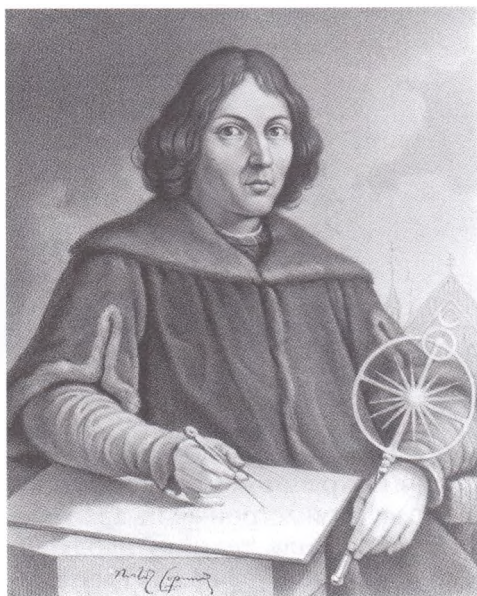
Армиллярная сфера.

НИКОЛАЙ КОПЕРНИК. «ОСТАНОВИВШИЙ СОЛНЦЕ, СДВИНУВШИЙ ЗЕМЛЮ»

На пьедестале памятника Копернику в Варшаве высечены слова: «Остановивший Солнце, сдвинувший Землю». В них вся суть открытия Коперника. Ему удалось убедить людей в том, что они живут не в неподвижном центре мира, а обитают на одной из планет, обращающихся вокруг Солнца.

Жизнь Коперника была тесно связана с Вармией — небольшой обла-

стью на севере Польши. Эта область была практически со всех сторон окружена землями Тевтонского ордена и только на западе имела неширокий участок границы с Польшей. Вармия была епископским княжеством. Там на берегу Вислинского залива стоял городок Фромборк — центр Вармийского епископата, где Коперник провёл большую часть жизни.



Николай
Коперник.

В ПОЛЬШЕ И В ИТАЛИИ

Николай Коперник родился 19 февраля 1473 г. в Торуни, торговом городе на Висле. Отец будущего астронома, тоже Николай, был богатым купцом, мать, Барбара, урождённая Ваченроде, — дочерью главы городского суда. Николай был четвёртым, младшим ребёнком в семье. Когда ему исполнилось десять лет, отец умер во время эпидемии чумы, и заботу о детях взял на себя брат матери Лукаш Ваченроде, который в 1489 г. был избран вармийским епископом.

В 1491 г. он определил Николая и его старшего брата Анджея в Краковский университет, где они проучились четыре года. Здесь Николай увлёкся астрономией.

После Кракова братья продолжили образование в Италии. Сперва они учились в Болонье, где Николай провёл ряд астрономических наблюдений. В 1500 г. Николай посетил Рим, а после поездки на родину два года изучал медицину в Падуанском университете. В Италии он легко овладел древнегреческим языком.

ФРОМБОРКСКАЯ БАШНЯ

Получив степень доктора канонического права, 30-летний Коперник возвратился в Польшу и был избран каноником Вармии. Несколько лет он жил в епископском замке в Лидсбарке. В 1512 г. Лукаш Ваченроде скончался, и начался фромборкский период жизни учёного.

Кафедральный собор Успения Богородицы во Фромборке, в котором служил отец Николай, — одна из главных святынь польского католичества. Собор был окружён крепкой стеной с оборонительными башнями. Коперник выбрал для жилья не слишком уютное место — северо-западную башню соборной стены. На её верхнем этаже он и устроил свой кабинет. Оттуда был выход на широкую крепостную стену с хорошим обзором. По ней можно было пройти к соседней башне, на которой была подходящая площадка для наблюдений другой части неба. Коперник собственноручно изготовил из дерева угломерные астрономические инструменты, подобные описанным в «Альмагесте». Среди них «трикветрум» — шарнирный треугольник,

► Северо-западная башня крепостной стены XIV в. во Фромборке, в которой Коперник устроил свою обсерваторию.





одну из планок которого наводили на светило, а по другой вели отсчёт, а также «гороскопий», или солнечный квадрант, — вертикальная плоскость с выступающим стерженьком в верхнем углу. Прибор устанавливался по линии север — юг и позволял по направлению полуденной тени в моменты солнцестояний судить о наклоне эклиптики к небесному экватору. Не менее важным инструментом была армиллярная сфера — вложенные друг в друга поворотные кольца, которые служили моделью небесных координат и давали возможность получать отсчёты по нужным направлениям.

Цель наблюдений Коперника заключалась не в открытии новых небесных явлений. Астрономы Средневековья занимались тем, что измеряли положения светил и сравнивали свои данные с результатами расчётов по схемам Птолемея. Многие поколения астрономов подправляли систему птолемея эпициклов, чтобы предсказывать положения планет более надёжно. В результате точность предсказаний оставляла желать лучшего, а Вселенная Птолемея усложнилась так, что стало ясно: Бог не мог создать мир таким несуразным.

Первоначально и Коперник стремился сделать модель Птолемея более стройной и простой. В простоте, был он уверен, кроется истина.

Путь к упрощению подсказал сам Птолемей, на страницах «Альмагеста» отвергнувший вращение и обращение Земли вокруг Солнца. Но то, что казалось невероятным полторы тысячи лет назад, стало предметом раздумий Коперника.

Движение Земли объясняло многие явления: годовое движение Солнца по эклиптике, прецессию земной оси (если уподобить Землю покачивающемуся волчку), «привязанность» Меркурия и Венеры к Солнцу, необычайную яркость Марса во время его противостояний и, наконец, пет-

леобразное движение планет. (Мы наблюдаем движущиеся планеты с движущейся Земли.)

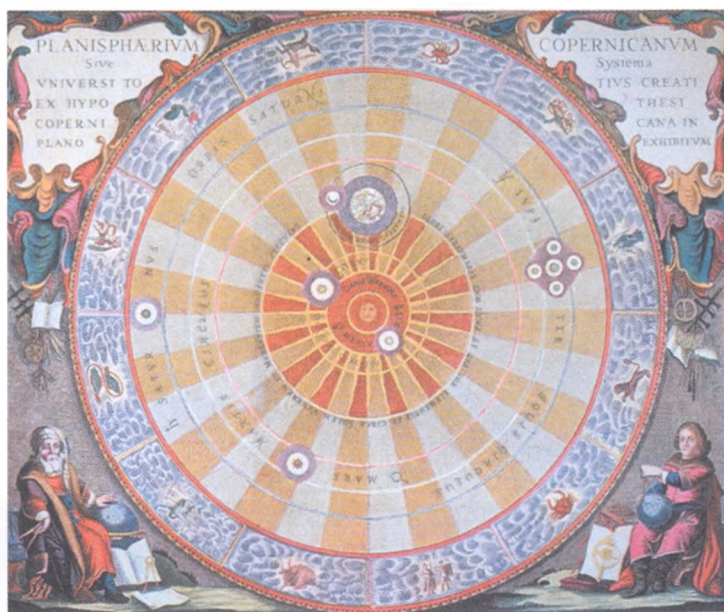
Тогда Коперник «принял на себя труд прочитать книги всех философов, которые только мог достать, желая найти, не высказывал ли когда кто-нибудь мнения, что у мировых сфер существуют движения, отличные от тех, которые предполагают преподающие в математических школах...». И он нашёл у Цицерона, что мнения о вращении Земли вокруг оси придерживались пифагорейцы Экфант и Гикет. Аристотель



сообщал о её орбитальном движении согласно воззрениям пифагорейца Филолая. Коперник, к сожалению, не знал гелиоцентрической системы Аристарха Самосского, поскольку рассказ Архимеда о ней был опубликован в Европе после его смерти. Авторитет античных учёных укрепил Коперника в желании довести до конца гелиоцентрическую теорию.

Много позже, в посвящении к своему главному труду, адресованному папе Павлу III, Николай Коперник вспоминал: «Я не хочу скрывать от Твоего Святейшества, что к размыш-

Ян Матейко.
Портрет Николая
Коперника.



Планисфера
Коперника.

лениям о другом способе расчёта мировых сфер меня побудило именно то, что сами математики не имеют у себя ничего вполне установленного относительно исследования этих (небесных) движений... И самое главное, так они и не смогли определить форму мира и точную соразмерность его частей».

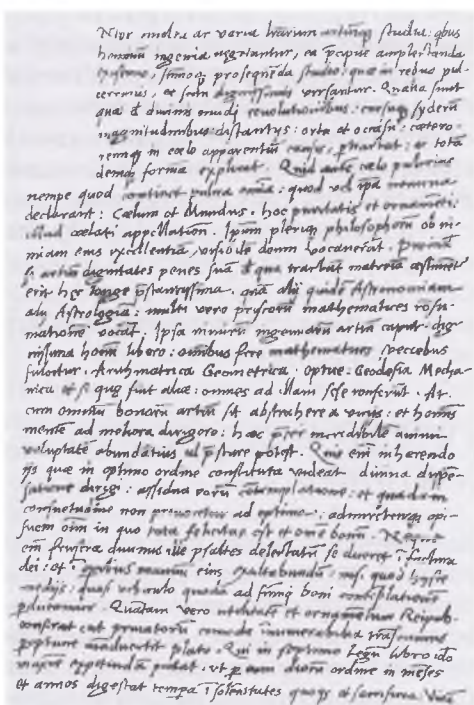
ОБЪЯСНЕНИЕ ПРЕЦЕССИИ

Коперник впервые объяснил явление прецессии как следствие поворота земной оси. Его ученик Ретик так пишет о видимом движении неба звёзд в новой системе: «Между рассматриваемыми и новыми гипотезами имеется только та разница, что в новых... на звёздной сфере никакого круга, кроме эклиптики, собственно говоря, мысленно не описывается. Что же касается остальных, именно экватора, двух тропиков... вертикалов, кругов, высот, параллелей и т. д., то они, по существу, чертятся на земном шаре и затем в каком-то отношении переносятся на небо». Поэтому изменение положения точек равноденствий может быть вызвано только поворотом земной оси. Ведь они являются местом пересечения эклиптики с экватором. Но поскольку на небе есть лишь эклиптика, то их смещение должно происходить только за счёт движения экватора, а он — след на небе плоскости земного экватора.

Геоцентрические системы Евдокса и Птолемея не позволяли измерить расстояния до планет. В гелиоцентрической системе Коперника впервые появилась возможность рассчитать реальные пропорции Солнечной системы, пользуясь радиусом земной орбиты как астрономической единицей. Коперник понял, что если мы смотрим на планеты, находясь на движущейся Земле, то планеты кроме движений по своим орбитам получают дополнительное круговое движение. С Земли оно будет видно в форме эпицикла. Размер эпицикла равен диаметру орбиты нашей планеты. Поэтому чем дальше от нас планета, тем меньшим будет казаться эпицикл, и по его угловым размерам можно судить о её удалённости. В системе Коперника «...последовательность и величины светил, все сферы и даже само небо окажутся так связанными, что ничего нельзя будет переставить ни в какой части, не производя путаницы в остальных частях и по всей Вселенной».

«О ВРАЩЕНИЯХ НЕБЕСНЫХ СФЕР»

Казалось бы, дело сделано, новая гипотеза строения мира готова, осталось только опубликовать её. Около 1515 г. появилось рукописное сочинение Коперника «Малый комментарий о гипотезах, относящихся к небесным движениям». Правда, здесь он не даёт математических доказательств, замечая, что «они предназначены для более обширного сочинения». Это сочинение — «О вращениях небесных сфер. Шесть книг» — заняло больше 20 лет упорного труда. Астроном считал, что разработка гипотезы должна быть непременно доведена до чисел, больше того — до таблиц, чтобы полученные с её помощью данные можно было сравнить с действительными движениями светил.



В начале книги Коперник вслед за Птолемеем излагает основы действий с углами на плоскости и, главное, на сфере, относящиеся к сферической тригонометрии. Здесь учёный внёс в эту науку много нового, выступив как незаурядный математик и вычислитель. Среди прочего Коперник приводит таблицу синусов (правда, это название не применяет) с шагом в десять угловых минут. Но, оказываясь, это лишь выдержка из более обширных и точных таблиц, которые он вычислил для своих расчётов. Их шаг составляет одну угловую минуту, а точность — семь десятичных знаков! Для этих таблиц Копернику потребовалось вычислить 324 тыс. величин. Эта часть сочинения и подробные таблицы были позже изданы отдельной книгой.

Книга «О вращениях» содержит описания астрономических приборов, а также новый, более точный, чем у Птолемея, каталог неподвижных звёзд. В ней разбирается видимое движение Солнца, Луны и

планет. Поскольку Коперник использовал только круговые равномерные движения, ему пришлось потратить много сил на поиски таких соотношений размеров системы, которые бы описывали наблюдаемые движения светил. После всех усилий его гелиоцентрическая система оказалась ненамного точнее птолемеевой. Сделать точной её удалось только Кеплеру и Ньютону.

КАЛЕНДАРЬ

1 декабря 1514 г. в Риме состоялся собор Католической церкви. На соборе обсуждался вопрос о назревшей реформе календаря. Была создана специальная комиссия, которая обратилась с просьбой к «императору, королям и университетам» прислать свои соображения по этому поводу.

С того времени, возможно по просьбе комиссии, учёный занялся наблюдениями для уточнения длины года. Найденная им величина стала основой для календарной реформы 1582 г. Определённая Николаем Коперником длина года составляла 365 суток 5 ч 49 мин 16 с и превышала истинную всего на 28 с.

◀
Рукопись
предисловия
Коперника
к книге
«О вращениях
небесных сфер».

Фромборк.
Вид на город.
В центре — собор,
справа от него —
башня Коперника.





► Собор во Фромборке. Здесь в 1523 г. в течение нескольких месяцев Коперник исполнял обязанности главы епархии.



Ольштынский замок. Комната, в которой Коперник прожил шесть лет.

Между тем в жизни Европы произошли важные перемены. В октябре 1517 г. профессор богословия Виттенбергского университета Мар-



тин Лютер выступил против официальных догматов католицизма. Так началась Реформация. Многие германские правители принимали лютеранство и становились в своих владениях главами новой Церкви. В 1525 г. это сделал и великий магистр Тевтонского ордена Альбрехт, который сложил с себя сан и отныне стал герцогом светского лютеранского государства, принеся присягу верности польскому королю.

ПЕРВЫЙ И ПОСЛЕДНИЙ УЧЕНИК

Копернику исполнилось 66 лет. Далеко за пределами Фромборка его уважали как врача и учёного человека. Рукопись книги «О вращениях» была в основном готова, но, опасаясь быть непонятым, Коперник не торопился её публиковать. В то время из колыбели лютеранства, Виттенберга, к нему приехал молодой профессор математики Георг Иоахим фон Лаухен, который взял себе имя Ретик (римляне называли Ретией область Австрии, где он родился).

Ретик прибыл во Фромборк в мае 1539 г., рассчитывая погостить у Коперника пару месяцев, но остался у него почти на два года. Под руководством Коперника он погрузился в изучение рукописи «О вращениях» и стал его постоянным собеседником. Ретик дал престарелому учёному то, чего Коперник был лишён всю жизнь, — возможность обсуждать научные проблемы с человеком, глубоко понимающим суть дела. Он горячо убеждал Коперника опубликовать его труд, и учёный наконец решился обнародовать книгу «О вращениях».

Не дожидаясь этой публикации, Ретик написал обширное изложение теории Коперника. Своё сочинение он назвал «Первое повествование». Оно было написано так, что не требовало от читателя математической



подготовки и было понятно любому образованному человеку. «Первое повествование» Ретика сыграло огромную роль в распространении идей Коперника. Оно несколько раз переиздавалось, а в 1596 г. Кеплер привёл его в виде приложения к своей книге «Космографическая тайна».

ГЛАВНАЯ КНИГА

Ретик всё торопил, а Коперник медлил с изданием. Подобно Пифагору, он сомневался, пришло ли время людям знать «это». Коперник сознавал всю взрывную мощь книги. Как учёный и одновременно священник, он чувствовал всё потрясение, которое испытают люди завтра, когда узнают, что живут на «звезде», на небесном теле. Размывалась граница между земным и небесным, ставшим также частью единой Природы. Духовное небо христианской веры отделялось от неба видимого. Это было началом переворота в науке, богословии, философии.

Благодаря «Повествованию» теория Коперника стала известна. Иерархи Католической церкви восприняли её вначале спокойно, а протестанты, выступавшие против излишних «умствований», отнеслись к ней враждебно. Сам Мартин Лютер так отозвался о новых веяниях: «Дурак хочет перевернуть вверх дном всё искусство астрономии. Но, как указывает Священное Писание, Иисус Навин велел остановиться Солнцу, а не Земле».

Ретик договорился о печатании книги Коперника в Нюрнберге. Он попросил наблюдать за изданием Андрея Осиандера, известного богослова и лютеранского проповедника. Ознакомившись с книгой, Осиандер направил Копернику письмо с просьбой написать к ней предисловие, где новая теория трактовалась бы лишь как некая рабочая гипотеза, позволяющая упростить расчёты.

Учёный вместо этого прислал в протестантский Нюрнберг посвящение книги главе Католической церкви папе Павлу III. Осиандер включил посвящение в книгу, добавив к ней, однако, собственный неподписанный текст. Он назывался «Обращение к читателю о предположениях, лежащих в основе этой книги» и содержал то, что Осиандер хотел получить от Коперника.

Книга вышла весной 1543 г., когда её автор тяжело заболел. Один из первых биографов Коперника Пьер Гассенди пишет: «Время его последней болезни почти совпадает с появлением из-под типографского станка бессмертного его творения... Его умственные способности и память стали ослабевать. За несколько часов до смерти принесли ему экземпляр только что отпечатанного его сочинения... Он взял книгу в руки и смотрел на неё, но мысли его были уже далеко...»



Коперник умер 24 мая и был похоронен под плитами Фромборкского кафедрального собора.

NICOLAI COPERNICI TORINENSIS
DE REVOLVTIONIBVS CAELI
LIBRVS VI.

Habes in hoc opere iam recte natio, et aedificatio,
studiosae lector, Munda stellarum, tam fixarum,
quam errantium, cum ex uteribus, tum etiam
ex recentibus observationibus reflectorant: no-
tis insuper ac admirabilibus hypothetibus oc-
cupat. Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex
quibus evidens, quodis tempore quoniam facili-
ter calculare poteris. Igaur eme, lege, fructe.

Dispositio: R. B. a. m. m.

Nürnberg apud Ioh. Petreum,
Anno M. D. XLIII.

▲
Титульный лист
книги Коперника
«О вращениях
небесных сфер».

Умиравший
Коперник держит
в руках только
что отпечатанную
книгу
«О вращениях
небесных сфер».



Книга «О вращениях» сразу нашла благодарных читателей. Друг Ретика виттенбергский математик Эразм Рейнгольд составил на основе теории Коперника новые планетные таблицы. Они получили название «Прусских», поскольку были изда-

ны на средства бывшего великого магистра ордена герцога Пруссии Альбрехта. Эти таблицы вытеснили прежние («Альфонсинские») и сохраняли своё значение до появления в 1627 г. «Рудольфовых таблиц», составленных Кеплером.

ТИХО БРАГЕ. СОЗДАТЕЛЬ «НЕБЕСНОГО ЗАМКА»

Если бы в звёздные сферы ты не взирали сквозь диоптры,
С неба не мог бы я зреть круговращенье Земли.

Иоганн Кеплер. «Новая астрономия»

Тихо Браге был великим астрономом-наблюдателем, выдающимся организатором науки и конструктором астрономических инструментов. Он создал первый в Европе крупный астрономический центр, где за 20 лет его существования был выполнен огромный объём точных наблюдений светил. Там были разработаны и построены наиболее совершенные астрономические

приборы того времени. Для многих десятков людей из разных стран обсерватория Браге стала практической школой. Результаты его работ попали в руки гениального теоретика Иоганна Кеплера, который на их основе смог сформулировать законы движения планет.

АСТРОНОМИЯ

Тихо Браге родился 14 декабря 1546 г. в семье, принадлежавшей к высшей знати Датского королевства. Он появился на свет в замке Кнудstrup в Скании, южной части Скандинавского полуострова, которая позже перешла от Дании к Швеции. Однако детство будущего учёного прошло в соседнем замке Тоструп у бездетного брата отца — адмирала Йоргена Браге. Мальчик рано выучил латынь и в 13 лет стал студентом Копенгагенского университета. Здесь он увлёкся астрономией.

Через три года 16-летнего Тихо в сопровождении воспитателя отправили учиться в Германию. Там он провёл шесть лет, время от времени наезжая в Данию. Браге слушал лекции в университетах Лейпцига, Виттенберга, Росток и Аугсбурга. Родные хотели,

Тихо Браге.





чтобы он изучал право, и воспитателем было наказано следить за этим. Браге, однако, занимался любимой наукой и по возможности знакомился с астрономами.

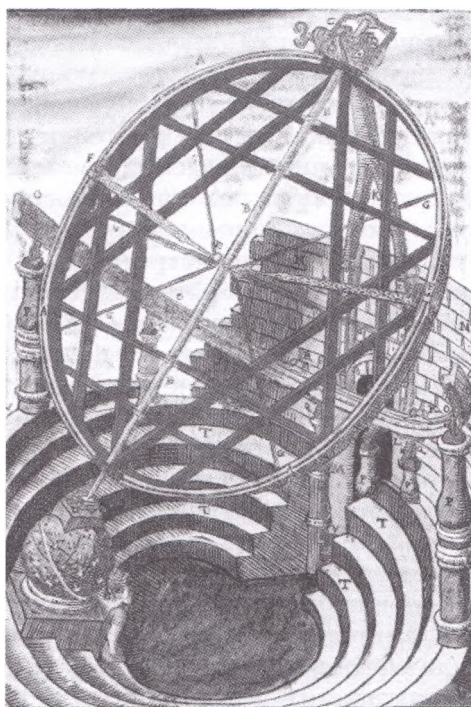
На второй год жизни Браге в Германии пришлось редкое астрономическое событие — соединение Юпитера и Сатурна. Не имея инструментов, Тихо вёл наблюдения с помощью обычного циркуля. Он приставлял к глазу его шарнир и разводил ножки так, чтобы на их концы попадали планеты, потом дома клал циркуль на бумагу, отмечал положение его частей и измерял угол полученного треугольника. Это стало его первым изобретением. В записях, которые он аккуратно вёл, было отмечено, что в определении времени этого события «Альфонсинские таблицы» ошиблись на месяц, а «Прусские» (составленные Рейнгольдом на основе теории Коперника) — всего на несколько дней.



Измерение угловых расстояний между небесными светилами при помощи циркуля.

НОВАЯ ЗВЕЗДА

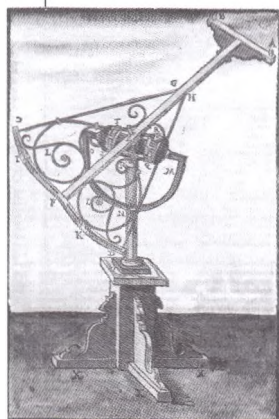
В 1571 г. Браге пришлось возвратиться в Данию: его вызвали к заболевшему отцу. Отец умер в мае того же года; Тихо Браге унаследовал родовое поместье Кнудstrup и занялся



Большой армиллярный экваториал Тихо Браге. Этот инструмент диаметром 2,7 м использовался для измерения угловых расстояний между звёздами.

хозяйством. Вскоре он сблизился со своим дядей Стеном Биллем, который жил недалеко и занимался алхимией. Браге принял участие в алхимических опытах, в технических начинаниях Билля. Вдвоём они устроили небольшое стекольное производство и, как тогда говорили, «бумажную мельницу». Казалось, Браге полностью отдался хозяйственным заботам, но исключительное астрономическое событие вернуло его к науке о небе.

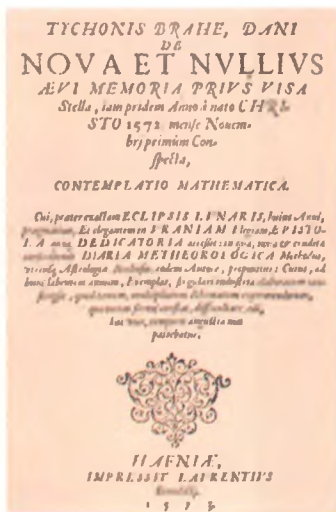
Вечером 11 ноября 1572 г. Браге вышел из дому, по привычке взглянул на небо и увидел в созвездии Кассиопея невероятной яркости звезду, которой там никогда не было. Согласно Аристотелю, такого просто не могло быть в вечном и неизменном мире звёзд. Он тут же принёс секстант и измерил угловое расстояние от новой звезды до соседних, чтобы утром провести повторные измерения, определить параллакс и узнать, далеко ли она от Земли. Параллакса он не обнаружил; это означало, что новое



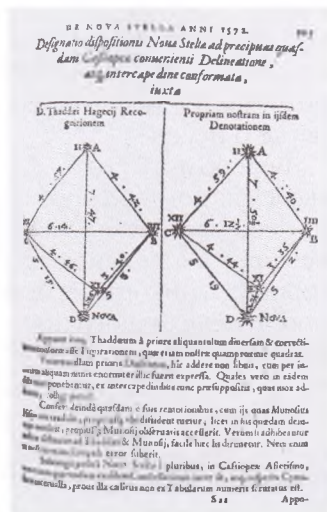
Двусторонняя дуга Тихо Браге для измерения угловых расстояний между небесными светилами. Длина инструмента 1,5 м.

светило находилось по крайней мере дальше Луны.

Звезда, как выяснилось позже, была сверхновой, вспыхнувшей в нашей Галактике. Она постепенно меркла и наблюдалась в течение 17 месяцев, пока не стала недоступной невооружённому глазу. Звезду наблюдали многие астрономы Европы, в том числе братья Хенцели с помощью квадранта Браге. Сам астроном тщательно следил за изменением её яркости. По поводу звезды появилось много публикаций, среди них нередко встречались вздорные, и друзья стали просить Браге написать о ней. Астроном отказывался, считая, что это недостойно дворянского звания, но потом сдался. Так появилось первое сочинение Браге «О новой звезде». Он считал её принадлежащей к звёздной сфере и между прочим рассуждал о её астрологическом значении. Возбуждённый звездой интерес к астрономии был так велик, что в 1573 г., когда она была ещё видна, Браге по приглашению Копенгагенского университета с успехом прочёл там свой первый и единственный курс лекций по астрономии.



Титульный лист и страница книги Тихо Браге «О новой звезде».



ОСТРОВ ВЕН

Вероятно, новая звезда окончательно убедила 30-летнего Браге, что главным делом его жизни должна быть астрономия.

Для занятий астрономией Браге собирался переехать в Германию. Но его друзья, принадлежавшие к образованной части общества, обратились к королю Фридриху II с просьбой удерживать его на родине. Монарх обещал помочь учёному, «так что мне нечего беспокоиться о чём-нибудь, кроме как о том, чтобы прославить страну, короля и самого себя», — писал в письме другу Браге.

Для устройства обсерватории Фридрих предложил учёному в пожизненное владение остров Вен, лежащий в середине Зундского пролива, соединяющего Балтийское море с Северным. Щедрая государственная поддержка позволила Браге создать знаменитый на всю Европу научный центр и получить лучшие результаты для своего времени.

УРАНИБОРГ И СТЬЕРНЕБОРГ

Браге немедленно приступил к созданию обсерватории. Здесь проявился его незаурядный организаторский и инженерный талант. Он назвал постройку «Ураниборг» («Небесный замок») в честь греческого бога звёздного неба Урана и, естественно, приспособил её к размещению инструментов и к суровому климату.

Строительство заняло около года, и уже в 1577 г. Ураниборг был заселён. «Небесный замок» представлял собой трёхэтажное квадратное здание, увенчанное башенкой со шпилем, на котором блеснул флюгер в виде крылатого коня Пегаса. Обращённые на юг и на север, по бокам выступали две полукруглые пристройки, украшенные крутыми



конусами поворотных раздвижных крыш, защищавших инструменты. В подвале размещались склад и алхимическая лаборатория, на первом этаже — комнаты семьи Браге и гостиная. В пристройке находился большой звёздный глобус, заказанный в Аугсбурге. В Ураниборге ему придали строго сферическую форму, снабдили точными шкалами и покрыли латунной фольгой. На него Браге иглой наносил звёзды, положение которых уточнялось в обсерватории. Второй этаж занимали комнаты для короля и королевы на случай их визита. Из коридора второго этажа был выход в северную и южную «обсерватории», которые размещались над кухней и музеем.

Вскоре после того, как было завершено строительство, в Ураниборге начались систематические наблюдения. В отличие от своих коллег из других обсерваторий Браге сразу же стал учитывать время наблюдений в минутах. Это было ещё до изобретения маятникового хода, и регули-

ровка примитивных часов стоила большого труда. Постепенно обсерватория оснащалась новыми инструментами, многие из которых изготовлялись на месте по проектам Браге. Со временем на острове появились механическая мастерская, типография, наладилось производство бумаги. Энергию производству давала устроенная Браге водяная мельница. Водяное колесо кроме бумагоделательных вальцов могло вращать мукомольный жёрнов и токарный станок.

В 1582 г. в гостиной на первом этаже Ураниборга установили стенной квадрант, названный Браге тихонианским. Основой этого инструмента была латунная шкала в виде 90-градусной дуги с радиусом 2 м, которая крепилась к стене, расположенной точно по линии север — юг. В южной наружной стене в геометрическом центре дуги в специально проделанном окошке был закреплён горизонтальный цилиндр, а по дуге могла скользить каретка с визирным приспособлением. Двигая каретку до совпадения звезды с краем цилиндра, астрономы получали её высоту над «математическим горизонтом».

◀ Вид и план Ураниборга.



Небесный глобус Тихо Браге. 1584 г.



Через семь лет после создания Ураниборга рядом с ним был построен дополнительный наблюдательный комплекс — Стьернеборг («Звёздный замок»). Он представлял собой подземное помещение, у которого поднимались раздвижные крыши над инструментами. В обсерватории кроме Браге работало обычно около десяти сотрудников, они «наезжают ко мне отовсюду», — говорил астроном. Они обедали вместе с Браге и его семьёй и составляли тесный коллектив. Младшая сестра Тихо Софья стала первой женщиной-астрономом в Европе. Это была образованнейшая женщина своего времени.

Браге достиг фантастической точности в наблюдениях положений звёзд на безоптических угломерных инструментах. Ошибка составляла $\pm 0,5'$, что в 20 раз точнее Птолеме-

евых наблюдений. В обсерватории были получены выдающиеся результаты: составлен каталог 788 звёзд, разработаны таблицы рефракции света в земной атмосфере и правила её учёта при наблюдениях, уточнён угол наклона эклиптики, открыты неизвестные прежде неравномерности движения Луны, в течение 20 лет постоянно фиксировались движения планет.

СИСТЕМА МИРА ТИХО БРАГЕ

В самом начале существования Ураниборга над Европой появилась яркая комета. Браге систематически наблюдал её и путём измерения параллакса доказал, что она находится дальше Луны и движется, пересекая сферы. Вместе с ними, как

► Таблица положений Луны, рассчитанная Тихо Браге.

Pro vero motu Luna

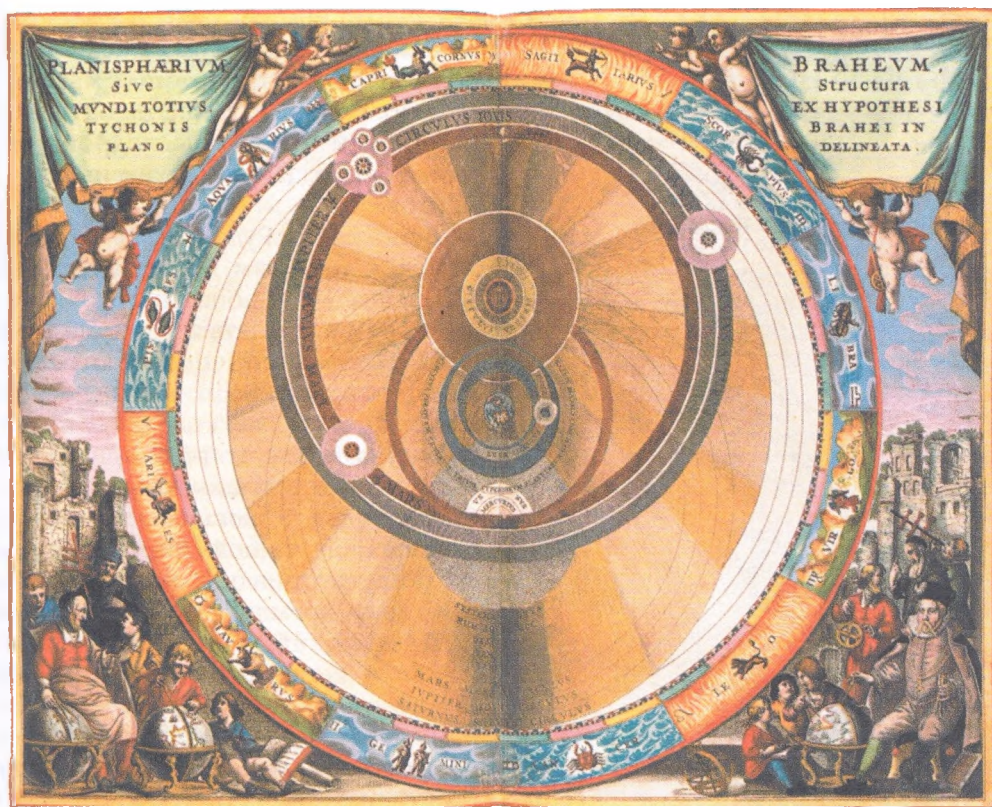
<i>(Diplata diffinita) 0 10 5 51 2 28</i>	
<i>11 10 10 5 51 2 28</i>	
<i>Scrippta proportionalia</i>	0 28
<i>Annotata 0 aqñata</i>	3 51 41 31
<i>11 10 10 5 51 2 28</i>	
<i>Exce/sus /egmens</i>	2 25 43
<i>11 10 10 5 51 2 28</i>	
<i>11 10 10 5 51 2 28</i>	4 6 2
<i>11 10 10 5 51 2 28</i>	2 59 37 21
<i>11 10 10 5 51 2 28</i>	5 58 39 54

pro vero motu praecessiois

<i>Simplex praecessiois</i>	0 27 29 22
<i>Annotata praecessiois</i>	5 43 22 7
<i>11 10 10 5 51 2 28</i>	0 20 25

► Тихо Браге с тремя помощниками проводит наблюдения на большом квадранте. На заднем плане изображены сцены работы с другими астрономическими инструментами Ураниборга.





Система мира Тихо Браге. Земля является центром вращения Солнца, Луны и сферы неподвижных звёзд. Пять планет (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн) обращаются вокруг Солнца. Показаны четыре спутника Юпитера, которые Галилей открыл в 1610 г. Иллюстрация из «Небесного атласа» А. Целлариуса. 1660 г.

тогда считалось, движутся планеты. Это означало, что Аристотель был не прав: твёрдых небесных сфер не существует, пространство является пустым.

Во время работы над книгой о кометах Браге пришёл к мысли о новой системе мира. В принципе он был готов принять систему Коперника, но его, создателя наиболее точных инструментов дотелескопической астрономии, сильно смущало отсутствие наблюдаемого параллакса звёзд. Браге писал астроному Ротману: «Считаешь ли ты возможным, чтобы расстояние между Солнцем... и Сатурном не составило бы даже $1/700$ расстояния от сферы неподвижных звёзд?.. А между тем

так должно быть непременно, если годичный путь Земли, рассматриваемый с неподвижных звёзд, должен составлять... только одну минуту дуги. Но ведь тогда и неподвижные звёзды третьей величины, видимый диаметр которых также равен минуте, должны были бы иметь размеры земной орбиты». Во времена Браге термин «звёздная величина», который сейчас обозначает видимую яркость звезды, воспринимался благодаря особенностям нашего зрения буквально (как её видимый размер). Истина открылась только с появлением телескопической астрономии. Чтобы объяснить отсутствие годичного параллакса звёзд, Тихо Браге предложил смешанную систе-



Титульный лист книги Тихо Браге «Astronomiae instauratae progymnasmata» («Приготовление к обновлённой астрономии»).



му мира. В ней Земля была центром сферы звёзд, а также орбит Луны и Солнца, планеты же, как и у Коперника, обращались вокруг Солнца. Вообще говоря, с точки зрения наблюдательной и вычислительной астрономии совершенно неважно, какое тело вокруг какого обращается. Но укрепившийся в сознании учёных физический взгляд на Вселенную заставлял выбирать её центром массивное Солнце, а не крошечную Землю. Браге гордился своей гипотезой, но она не сыграла заметной роли в развитии астрономии.

ПРАГА

В 1597 г. датский трон занял Христиан IV. Посчитав астрономию лишь дорогостоящей причудой, он прекратил финансирование обсерватории Браге. 29 апреля астроном с семьёй и сотрудниками навсегда покинул остров Вен. Браге с близкими ненадолго остановился у своих дру-

зей вблизи Гамбурга. Там была издана его знаменитая книга «Механика обновлённой астрономии» с массой гравюр, сделанных ещё на острове Вен. В ней помещены подробные описания созданных Браге инструментов.

Лейб-медик Рудольфа II Фаддей Хайек, с которым Браге познакомился ещё на коронации, уговорил императора принять астронома. Согласие было получено весной следующего года, и Браге отправился в Прагу, являвшуюся тогда столицей Священной Римской империи. Это было тяжёлое время для учёного. Сперва Браге попытался устроиться в замке Бенатек под Прагой, потом его обсерватория переехала в Пражский град (кремль).

В феврале 1600 г. произошла знаменательная встреча Тихо Браге с Иоганном Кеплером. Браге знал его книгу «Космографическая тайна», посвященную поискам математической гармонии в строении Солнечной системы. В 1600 г. Браге взял Кеплера в помощники и поручил обработку данных наблюдений Марса. Однако сотрудничество двух великих учёных длилось недолго.

...

24 октября 1601 г. после непродолжительной болезни Тихо Браге скончался. Император устроил астроному пышные похороны. Кеплер же получил титул первого математика императора и потратил долгие годы на обработку наблюдений обсерватории Браге (своего рода его завещание). Итогом было открытие законов движения планет. Позднее Ньютон использовал законы Кеплера для того, чтобы доказать справедливость закона тяготения. Астрономические наблюдения Тихо Браге, которые казались пустой забавой его вельможным современникам, явились фундаментом, на котором построена современная теория тяготения.



Астрономический секстант, изготовленный в 1600 г. в Праге по чертежам Тихо Браге.



ИОГАНН КЕПЛЕР. ЗАКОНОДАТЕЛЬ НЕБА

Воистину божественный голос призывает людей к занятию астрономией.

Иоганн Кеплер

ПРИЗВАНИЕ

Иоганн Кеплер родился 27 декабря 1571 г. в Южной Германии. В XVI в. Священная Римская империя германской нации состояла из мелких государств. Междоусобные и религиозные войны между ними разоряли население. Родители Кеплера были протестантами. Отец Кеплера пытался завести своё дело, но всякий раз неудачно, поэтому он часто подрабатывал солдатом-наёмником. Мать Кеплера была неграмотной, но знала толк в целебных травах. Ганс родился семимесячным и был очень слабым ребёнком. В 1575 г. мальчик заразился оспой и чуть не умер. У него были больные печень и желудок, сильная близорукость. Болезни преследовали Кеплера всю жизнь. В 1577—1586 гг. с перерывами из-за проблем в семье Иоганн учился в церковных и монастырских школах. У Кеплера сохранились воспоминания о яркой комете 1577 г. и затмении Луны 31 января 1580 г.

Благодаря отличной успеваемости Кеплер получил возможность учиться за казённый счёт в училище Маульбрунского монастыря. Здесь 3 марта 1588 г. он наблюдал лунное затмение. Кеплер пробыл в Маульбруне три года, затем его перевели в Тюбингенскую семинарию.

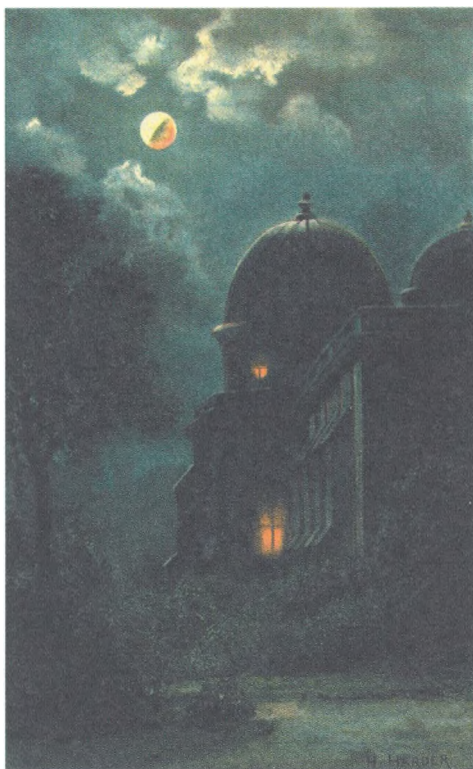
Здесь Кеплер для самообразования купил книгу Скалигера «Упражнения в экзотерической (естественной) философии» (1557 г.). Скалигер пробудил в нём размышления о всевозможных вопросах: «...о небе, о душах и духах, о стихиях, о природе огня, о происхождении источни-



Иоганн Кеплер.

ков, о морских приливах и отливах, о виде материков и окружающих их морей...» Кеплер заинтересовался астрологией.

За успехи в семинарии Кеплер получил стипендию герцога Вюртембергского для продолжения учебы в Тюбингенской академии. В академию Кеплер поступил в 1591 г., он хотел быть богословом, чтобы послужить обновлению христианства. Кеплер ревностно занимался богословскими предметами, часто участвовал в богословских диспутах и написал латинскими стихами поэму «О вездесущии тела Христова». В богословских спорах он пытался давать своё толкование Священного Писания. Руководство академии рассматривало это как ересь, и Кеплер понял, что карьера богослова для него закрыта.

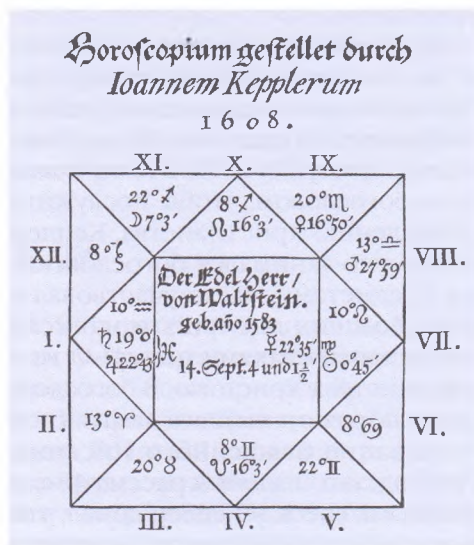


Частное лунное затмение.

Он стал заниматься математикой и астрономией.

Лекции по математике и астрономии читал профессор Мёстлин (1550—1630). Подчиняясь учебной программе, он излагал астрономию

Гороскоп полководца Валленштейна, составленный Кеплером.



Птолемея. Заметив склонность Кеплера к математике и астрономии, Мёстлин ввёл его в круг немногих студентов, для которых у себя дома бесплатно читал лекции по астрономии Коперника. Позже Кеплер писал: «...я собирал отчасти из лекций Мёстлина, отчасти из собственных соображений все доводы, которыми Коперник превзошёл Птолемея с математической точки зрения». Он понял, что может «...прославить Бога и в астрономии...».

Кеплер блестяще защитил магистерскую диссертацию в 1593 г. и получил аттестат с отличием. По ходатайству Мёстлина его назначили преподавателем математики в гимназии в Граце.

В гимназии Кеплер проработал до осени 1597 г. Кроме математики он преподавал астрономию. В его обязанности входило составление ежегодных календарей для общего пользования. Первым печатным произведением Кеплера был календарь на 1595 г. Календарь содержал статью о необходимости перехода на новый стиль летосчисления, а также информацию о приметах и астрологические прогнозы, как это было тогда принято. Без астрологических прогнозов календари никто не стал бы покупать. Продажа календарей и составление гороскопов обеспечивали Кеплеру дополнительный доход на протяжении всей его жизни.

НАУЧНАЯ РАБОТА

Для преподавания астрономии Кеплеру понадобилось перечитать труды древнегреческих философов о космосе и книгу Коперника. Это стимулировало начало его научных исследований. Размышляя о работе Коперника, Кеплер задумался о том, какова причина движения планет, почему в планетной системе именно шесть планет, чем определяются



их скорости и размеры орбит. Эти физические вопросы о причинах явлений природы не поднимались до Кеплера, потому что задача средневековых астрономов состояла в точном описании и предсказании движения планет, а причиной этого движения они видели Божественный промысел, который не обсуждается.

Кеплеру как глубоко верующему человеку были близки идеи Пифагора и Платона о том, что мир, созданный Богом, обладает гармонией (красотой), которую можно познать с помощью математики. Пифагорейцы называли самой совершенной небесную сферу — космос, и обожествляли её. Планеты двигались в космосе, поэтому их считали символами богов. Платон полагал, что «бог всегда поступает по правилам геометрии». Поэтому мировая гармония обнаруживается в существовании рациональных чисел и правильных геометрических фигур. Платон при объяснении различия свойств основных веществ — огня, воды, земли, воздуха — полагал, что их атомы имеют формы правильных выпуклых многогранников — тетраэдр, икосаэдр, гексаэдр (куб) и октаэдр соответственно.

В результате попытки ответить на поставленные вопросы появилась первая научная книга Кеплера (1596 г.). По обычаю своего времени он ей дал очень длинное название. Позднее Кеплер называл её *Mysterium Cosmographicum* — «Космографическая тайна». В этой работе учёный рассматривает Солнце как причину движения планет, и поэтому есть закон (гармония), определяющий расстояния планет от Солнца. Сначала он предположил, что отношения радиусов планетных сфер должно выражаться отношением целых чисел. Кеплер использовал оценки Коперника размеров орбит и потратил много времени на игру с

числами. Результат был отрицательным. Решение пришло во время урока, на котором он рассказывал о треугольнике, вписанном в окружность. Он представил, что пять известных правильных выпуклых многогранников — «платоновых тел» — определяют геометрию системы планет. Эти пять многогранников можно поместить между планетными сферами. Кеплер подобрал такое чередование вписанных и описанных фигур, при котором отношение радиусов сфер планет было прибли-

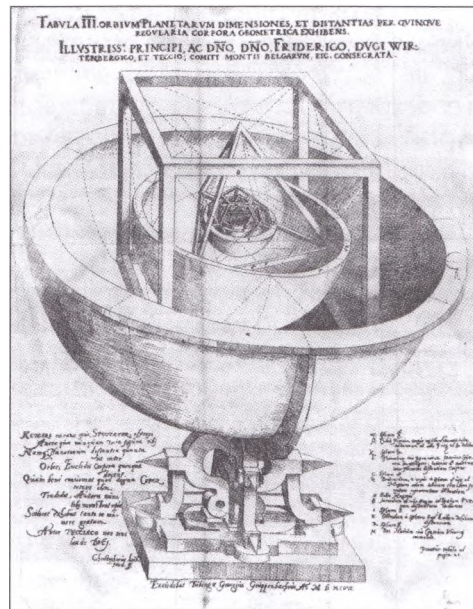


Рисунок из книги Кеплера «Космографическая тайна» (1596 г.), показывающий, что пять правильных многоугольников можно разместить внутри совокупности концентрических сфер, радиусы которых соотносятся так же, как радиусы планетных орбит в модели Коперника.

зительно как у Коперника. Он ввёл додекаэдр, в который вписана сфера орбиты Земли. «Описанная вокруг додекаэдра сфера есть сфера Марса. Вокруг сферы Марса опишем тетраэдр. Описанная вокруг тетраэдра сфера есть сфера Юпитера. Вокруг сферы Юпитера опишем куб. Описанная вокруг куба сфера есть сфера Сатурна. В сферу Земли вложим икосаэдр. Вписанная в него сфера есть сфера Венеры. В сферу Венеры вложим октаэдр. Вписанная в него сфера есть сфера Меркурия». Тайна космоса, по мнению 23-летнего



Кеплера, состояла в геометрическом принципе симметрии: положение планет в системе зависело от симметрии платоновых тел! Геометрический принцип позволил Кеплеру дать ответ на два вопроса: объяснить число известных тогда планет и определить радиусы планетных сфер в единицах расстояния между Солнцем и Землёй в сравнительно хорошем согласии с системой Коперника. Ответить на третий вопрос — о скоростях планет — оказалось труднее всего. Кеплер предположил, что между радиусами орбит планет и их периодами обращения должна быть связь, однако он ещё не мог её найти. Вся дальнейшая научная деятельность учёного освещена верой в скрытую математическую гармонию, или, на современном языке, в симметрию.

Книгу «Космографическая тайна» Кеплер послал Галилею и Браге. Галилей одобрил гелиоцентрический подход Кеплера, хотя мистическое содержание не поддержал. Браге также отверг построения Кеплера,

однако высоко оценил его знания и пригласил к себе в обсерваторию.

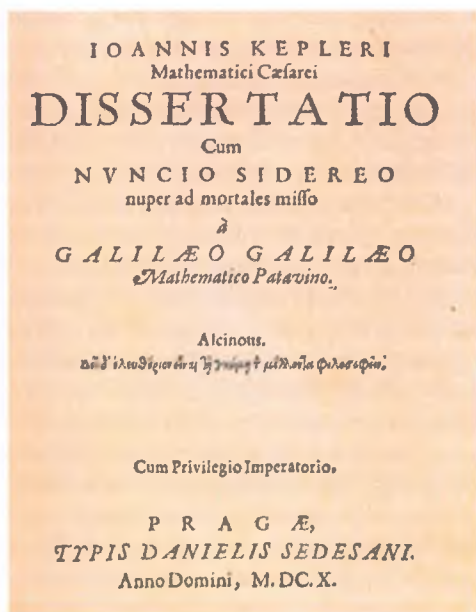
Осенью 1597 г. в Граце, где Кеплер преподавал математику, начались гонения католиков на протестантов. Кеплер вынужден был уехать из города, но благодаря заступничеству своих доброжелателей-католиков, которые с уважением относились к нему как математику, смог вернуться. После возвращения Кеплер посвятил себя научной работе, потому что занятия в гимназии не велись из-за отсутствия всех преподавателей-протестантов. Он начал исследования по оптике, магнетизму, метеорологии, хотел определить орбиту Луны, для чего ему понадобились данные астрономических наблюдений, которые имелись у Браге. В 1599 г. возобновились гонения на протестантов, и 1 января 1600 г. Кеплер уехал с семьёй к Браге в Прагу. Браге выхлопотал для Кеплера должность и титул «математика императора» Рудольфа II и предложил ему проверить свою гелиоцентрическую систему мира по наблюдениям Марса.

24 октября 1601 г. Браге скоропостижно скончался. Кеплер написал элегию на его смерть. Рудольф II назначил Кеплера преемником Браге в должности «астронома и астролога императора». Казна императора из-за войн была пуста. Жалованье Кеплеру платили редко и скудно. Он подрабатывал составлением гороскопов.

Кеплер прожил в Праге 12 лет. Здесь он занимался обработкой наблюдений Браге и изучал атмосферную рефракцию — преломление света в воздухе. Результаты этих исследований он изложил в книге «Дополнение к Вителлию» (1604 г.). Кеплер описывает преломление света, понятие оптического изображения, общую теорию линз и их систем. Вводит термины «оптическая ось» и «мениск», впервые формулирует закон падения освещённости обратно пропорционально квадрату расстоя-

Круг Марса.
Выполнен
из позолоченной
меди в 1561—
1563 гг.
в Марбурге,
Германия.
Действует как
планетные часы,
показывая
геоцентрические
долготу и широту
при орбитальном
движении Марса.





ния до источника света. Он впервые описывает явление полного внутреннего отражения света.

В 1610 г. Галилей сообщает Кеплеру об открытии спутников Юпитера. Проведя собственные наблюдения, Кеплер подтвердил наличие спутников и занялся теорией линз. В результате появилась фундаментальная работа «Диоптрика». В ней Кеплер предлагает правильный физиологический механизм зрения, объясняет причины близорукости и дальновидности. Он описывает схему подзорной трубы (телескоп Кеплера). К середине XVII в. телескопы Кеплера вытеснили менее совершенный телескоп Галилея.

В 1604 г. Кеплер публикует свои наблюдения сверхновой, называемой теперь его именем.

В 1611 г. учёный проанализировал симметрию снежинок. Он высказал гипотезу о том, что пирамидальная упаковка шаров имеет наибольшую плотность. Математически удалось доказать «проблему Кеплера» только в 1998 г.

В 1611 г. душевнобольной император Рудольф II, проиграв войну с

собственным братом Матвеем, отрывается в его пользу от короны и вскоре умирает. За Кеплером сохранена должность придворного математика и астронома, но в деле оплаты новый император ничем не лучше старого. В 1612 г. Кеплер ищет работу и переезжает в Линц, где проживёт 14 лет.

В 1615 г. Кеплер нашёл способ определения объёмов тел вращения, который описал в книге «Новая стереометрия винных бочек». Предложенный им метод содержит элементы интегрального исчисления.

В бесконечность Вселенной Кеплер не верил и сферу звёзд считал границей мира. В качестве аргумента он предложил (1610 г.) то, что позже получило название фотометрического парадокса: если число звёзд бесконечно, то в любом направлении взгляд наткнулся бы на звезду и на небе не существовало бы тёмных участков.

Летом 1627 г. Кеплер после 22 лет трудов опубликовал астрономические таблицы, которые в честь императора назвал «Рудольфовыми». Спрос на них был огромен, так как все прежние таблицы давно разошлись с наблюдениями. Этот труд впервые включал удобные для расчётов таблицы логарифмов. Таблицы служили астрономам и морякам вплоть до начала XIX в.

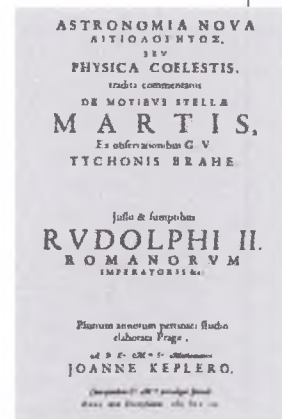
Через год после смерти Кеплера, в 1631 г., Гассенди наблюдал предсказанное им прохождение Венеры по диску Солнца.

ТРИ ЗАКОНА КЕПЛЕРА

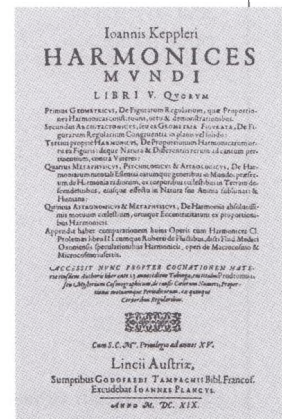
Самый большой вклад в астрономию, навсегда прославивший его, Кеплер внёс, открыв три закона движения планет, носящих с тех пор его имя. В современной формулировке эти законы таковы:

Каждая планета обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Титульный лист диссертации Кеплера.



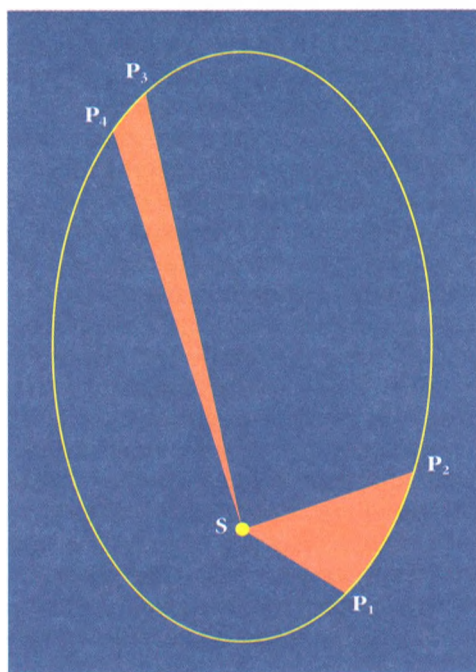
Титульный лист книги Кеплера «Новая астрономия».



Титульный лист книги Кеплера «Гармония Мира».

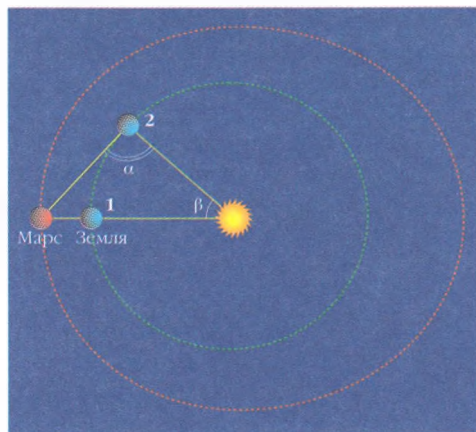


Иллюстрация
закона площадей.



При движении планеты (P) вокруг Солнца (S) её радиус-вектор за одинаковые промежутки времени описывает равные площади: фигуры P_1SP_2 и P_3SP_4 имеют равные площади. Это значит, что в перигелии скорость орбитального движения планеты максимальна, а в афелии — минимальна.

Схема,
использованная
Кеплером
для изучения
орбиты Земли.



В начальный момент Солнце, Земля и Марс находятся на одной прямой. Через время, равное периоду обращения Марса вокруг Солнца, Земля займёт положение 2, а Марс вернётся в исходное положение 1. Из наблюдений Тихо Браге Кеплер нашёл углы α и β и смог определить расстояние между Солнцем и Землёй в положении 2 в единицах расстояния Марса от Солнца.

Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает (заметает) равные площади.

Квадраты звёздных периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.

Следует иметь в виду, что научная деятельность Кеплера протекала в ту эпоху, когда над всей натурфилософией довлели некоторые догмы общего характера, следующие из априорных представлений о принципах мирового устройства. Одна из них утверждала, что в столь совершенном мире, как мир небесных тел, не может быть «несовершенных» движений. А совершенным считалось равномерное движение по окружности. Если видимое движение от этого отклонялось, то его следовало представить в виде комбинации таких «совершенных движений». Царившая полтора тысячелетия система мира Птолемея иных движений не знала. Не отменил этого и Коперник, перенёсший центр мира с Земли на Солнце.

Кеплер поставил вопрос иначе. Он решил выяснить, какова должна быть форма планетной орбиты и как должна двигаться планета по этой орбите, чтобы положения её на небе Земли, наблюдаемые в разные моменты, совпадали с теми, которые можно вычислить, исходя из формы орбиты и характера движения планеты по ней.

По существу, он пользовался методом подбора, требовавшим, кстати, огромного объёма вычислительной работы.

К счастью, Кеплер располагал прекрасными наблюдениями планеты Марс, выполненными Тихо Браге с помощью им же изготовленных весьма точных инструментов. Погрешность этих наблюдений не превышала восьми угловых минут.

Первым был установлен второй закон Кеплера (закон площадей), причём не на примере орбиты Марса, а на примере орбиты Земли. Чтобы полу-



читать точки орбиты Земли, нужно в разные моменты времени измерять её положение относительно двух неподвижных точек в Солнечной системе. Одна точка — это Солнце, в качестве другой Кеплер избрал... Марс! Как же так, ведь он движется! Да, но его движение известно. Давно установлено, что по отношению к звёздам он совершает один оборот за 687 земных суток. Это значит, что если взять за начало отсчёта какое-то положение Марса, то через 687 дней он туда вернётся. Но Земля в это время займёт по отношению к нему совсем другое место. Осталось выбрать из наблюдений Браге такие, для которых Марс как бы стоит на месте. Из полученного таким способом чертежа земной орбиты стало ясно, что за равные промежутки времени планета проходит равные площади секторов орбиты.

Очень много усилий пришлось приложить Кеплеру для выяснения истинной формы планетных орбит. Он испытывал разные замкнутые кривые. Сначала эквант — это та же окружность, но Солнце не находится в центре. Придя к выводу, что орбита не может быть круговой, а должна быть вытянутой, попробовал овал — фигуру из четырёх сопряжённых дуг окружностей. Целый год мучился с овоидом — фигурой яйцевидной формы. И одну за другой отбраковывал эти кривые — разница между вычисленными и наблюдаемыми положениями Марса составляла более восьми минут. Для любых наблюдений того времени это можно было списать на наблюдательную погрешность, но не для наблюдений Тихо Браге.

Наконец пришёл черёд эллипса. С ним тоже ничего не получалось, пока Кеплер не догадался поместить Солнце в один из фокусов. На эллипс легли все точки орбиты, вычисленные из наблюдений.

Вычислив орбиту Марса, Кеплер на основании установленных закономерностей определил параметры

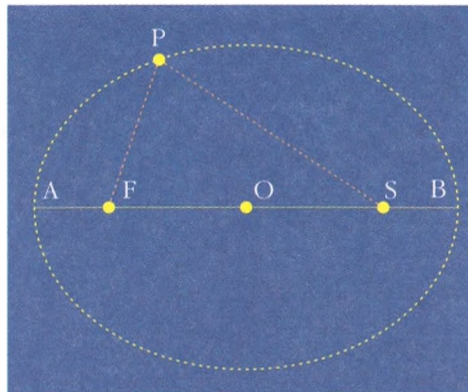


Иллюстрация к первому закону Кеплера.

Планета P движется по эллиптической орбите. Эллипс имеет два фокуса. В одном из них находится Солнце (S). Точка B орбиты планеты, расположенная ближе к Солнцу, называется перигелием, точка A — наиболее удалённая от Солнца — афелием. Отношение $OS/OB = e$ называется эксцентриситетом. Чем оно больше, тем сильнее вытянут эллипс. У окружности $e = 0$.

орбит других планет. Сопоставив размеры орбит с периодами обращений планет, он получил третий закон.

Однако Кеплер, установив законы движения планет, не мог понять причин, по которым планеты движутся именно таким образом. Лишь в конце XVII в. Исаак Ньютон выведет эти зависимости аналитически, исходя из законов динамики и закона всемирного тяготения.

Судьба Кеплера трагична. Его преследовали в католической стране как протестанта, семейная жизнь сложилась неудачно, он редко вылезал из бедности, дети умирали один за другим. Кеплер скитался по Европе времён Тридцатилетней войны. Умер он в Регенсбурге на постоялом дворе 15 ноября 1630 г. в ожидании жалованья, которого не получал много лет. В довершение всего в ходе войны было разрушено кладбище в Регенсбурге, где был похоронен учёный, и от могилы Кеплера не осталось и следа.

Часть архива Кеплера утрачена. В 1774 г. большую часть архива (18 томов из 22) приобрела Петербургская академия наук, там он и хранится до сих пор.



ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

Я предпочитаю найти одну истину, хотя бы и в незначительных вещах, чем долго спорить о величайших вопросах, не достигая никакой истины.

Галилео Галилей

ПРИЗВАНИЕ

► Галилео Галилей.



Телескопы
Галилея.

Галилей родился 15 февраля 1564 г. в Пизе (Италия) в обедневшей дворянской семье. Благодаря родителям он получил начальное классическое образование. В 1575 г. Галилео отдали в монастырскую школу. Мальчик увлёкся риторикой, музыкой и рисованием и захотел стать живописцем, музыкантом или монахом. Родители желали видеть сына врачом и отправили его в университет. В сентябре 1581 г. Галилео стал студентом университета в Пизе. Отец оплачивал лекции по медицине, но медицина Галилея не интересовала. Правда, с тех пор у него осталась привычка использовать удары пульса для измерения времени в своих опытах. В 1582 г. Галилей обнаружил, что период небольших колебаний маятника зависит только от длины нити и не зависит от массы и размаха колебаний.

На втором курсе Галилео увлёкся математикой и очень жалел, что не может бросить медицину. Он изучал труды Евклида и Архимеда и, узнав о законе Архимеда, сконструировал гидростатические весы. В 1585 г. отец



не смог оплатить обучение сына, поэтому Галилей покинул университет. В 1586 г. он написал две работы о гидростатических весах и об определении центра тяжести тел, которые заинтересовали инспектора военных укреплений Гвидобальдо дель Монте. В 1589 г. он помог Галилею получить должность профессора математики в университете Пизы.

Книгу философии составляет то, что постоянно открыто нашим глазам, но, так как она написана буквами, отличными от нашего алфавита, её не могут прочесть все: буквами такой книги служат треугольники, четырёхугольники, круги, шары, конусы, пирамиды и другие математические фигуры.

Галилео Галилей

НАУЧНАЯ РАБОТА

Галилей читал лекции по геометрии, натуральной философии и астрономии. На лекциях по философии он ставил опыты. Например, демонстрировал движение шаров одинакового размера из дерева и металла



по гладкому наклонному жёлобу. Опыт показывал, что ускорение шаров зависит только от угла наклона жёлоба и не зависит от массы. Это противоречило утверждению Аристотеля, что скорость падающего тела тем больше, чем больше масса тела. Размышления о законах падения тел Галилей изложил в небольшом труде «О движении» (1590 г.).

Галилей открыл в Пизе мастерскую для изготовления различных приборов. Здесь он сделал термоскоп (термометр) и метроном. Осенью 1592 г. Галилей получил кафедру математики в университете Падуи. Тексты его лекций были очень популярны не только в Италии, но и во всей Европе.

В 1597 г. Галилей познакомился с книгой И. Кеплера «Космографическая тайна».

В мае 1609 г. Галилей узнал о голландских зрительных трубах. В августе 1609 г. он сделал подобный инструмент — телескоп с увеличением в 30 раз.

Галилей первым применил телескоп для наблюдения небесных тел. В телескоп он увидел, что «поверхность Луны... очень неправильная, испещрена ямами и возвышенностями, в точности, как и поверхность Земли...». «Пепельный свет» диска Луны в новолуние он объяснил тем, что тёмная поверхность Луны освещается лучами Солнца, отражёнными от Земли.

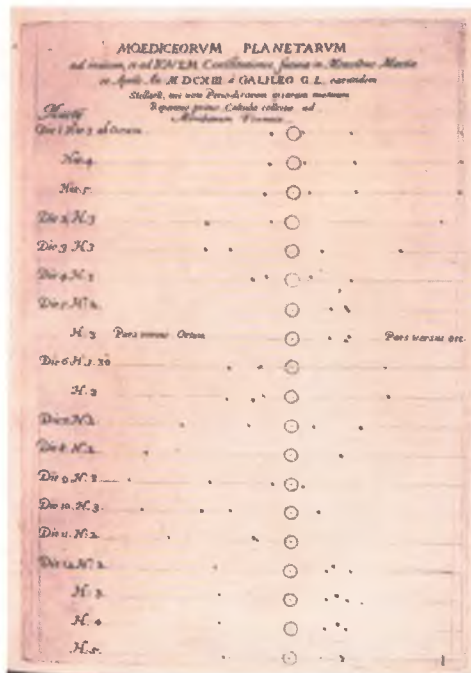
В конце 1609 г. Галилей обнаружил, что Млечный Путь состоит из далёких звёзд. В июле 1610 г. он увидел «звездообразные придатки» у Сатурна.

7 января 1610 г. Галилей увидел звёзды около Юпитера: «... две звезды располагались к востоку, а одна — к западу...» 8 января он «обнаружил совершенно иное расположение — все три звёздочки стояли к западу от Юпитера... Не может быть сомнения в том, что они совершают свои обороты вокруг Юпитера...». Это



открытие Галилей посвятил герцогу Тосканскому. Герцог наградил Галилея титулом «первого математика и философа».

Пизанский собор. На заднем плане видна знаменитая «падающая» башня. На ней Галилей проводил свои физические опыты.



Галилеевы зарисовки положений спутников Юпитера.

Такими Галилей увидел кольца Сатурна в свой телескоп.





ДЖОРДАНО БРУНО

Бруно не был астрономом: он не вёл наблюдения небесных светил и не занимался вычислениями. И всё же значение его трудов и идей в истории астрономии, как и в естествознании в целом, очень велико. Да и вся история человечества была бы беднее без этой судьбы. Философ, мыслитель, создатель новой и поразительно смелой для своего времени картины мироздания, инакомыслящий и даже бунтарь, в своём служении Истине не знавший никаких компромиссов...

Филиппо — такое имя дали мальчику при крещении — родился в 1548 г. в городке Нобла близ Неаполя, в семье небогатого дворянина, служившего в армии. «Ноланец» — так называл он себя всю жизнь, а свою философию — ноланской, принесённую тем известность маленькому городку. В 17 лет Бруно стал монахом католического монастыря, принадлежавшего доминиканскому ордену. При этом он принял новое имя — Джордано.

В монастыре молодой монах получил хорошее образование. Джордано был вызван в Рим, где многообещающего юношу представили папе Пию V. Однако церковная карьера была не для него.

Обвинённый в ереси, 28-летний Джордано бежал в Женеву. Так начались многолетние странствия учёного по Европе.

В 1584 г. в Лондоне Бруно издал на итальянском языке (общепринятым языком науки тогда была латынь) прославивший его имя в веках труд «О бесконечности, вселенной и мирах». По обычаю времени книга была написана в виде диалогов, которые ведут несколько собеседников, выражающих разные точки зрения.

Джордано Бруно решительно высказался в защиту учения Коперника, что само по себе было дерзостью, но не остановился на этом. «Вселенная бесконечна», — сказал он. У неё нет и не может быть единого центра. Коперник, как и все астрономы до него, думал, что космос замкнут «сферой неподвижных звёзд». Бруно же выдвинул головокружительную идею: звёзды — это другие солнца, отнесённые от нас на огромное и при этом разное расстояние. В небе — бесчисленные звёзды, созвездия, солнца и земли, чувственно воспринимаемые; разумом мы заключаем о бесконечном количестве других миров. Следовательно, кроме видимых небесных светил есть ещё много космических объектов, неизвестных нам. Вокруг других звёзд-солнц тоже вращаются планетные системы, подобные нашей. Планеты в отличие от звёзд светят не своим, а отражённым светом. Солнце, как и планеты, вращается вокруг оси — всеобщее движение есть закон Вселенной. В Солнечной системе помимо шести известных тогда есть ещё планеты, невидимые глазом в силу их удалённости от нас.

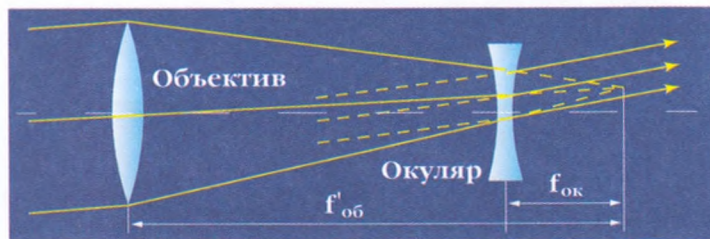
Зрительная труба Галилея.

Луна. Зарисовка Галилея.

Ход лучей в телескопе системы Галилея.



Титульный лист книги Галилея «Звёздный вестник».





Миры — планеты и солнца — находятся в вечном изменении и развитии, рождаются и умирают. Меняется и поверхность Земли — за большие промежутки времени «моря превращаются в континенты, а континенты — в моря». Наконец, жизнь есть не только на Земле, она распространена во Вселенной, формы её бесконечно разнообразны, так же многообразны условия на разных планетах. Жизнь во Вселенной неизбежно порождает и разум, причём разумные существа других планет совсем не должны походить на людей — ведь Вселенная бесконечна, и в ней есть место для всех форм бытия.

Тогда эти идеи казались фантастическими, ослепляющими, безумно смелыми. Они рушили всю привычную картину мира.

Бруно утверждал: думать, что Вселенная ограничена, замкнута — значит оскорблять всемогущество Бога-Творца, который мог и должен был сотворить Бесконечность.

«Академик без академии», как Бруно называл себя, пытался преподавать в университетах и, несмотря на успех у аудитории, покидал одно место за другим под угрозой преследования со стороны властей. При этом он продолжал писать и издавать новые книги.

В 1592 г. Джордано вернулся на родину. Он остановился в Венеции, у знатного горожанина Джованни Мочениго, просившего Бруно обучить его наукам.

Мочениго верил, что его учёный гость может превращать камни в золото, и, когда тот не стал обучать его «тайному знанию», раздосадованный, выдал его инквизиции. Узнав об аресте Бруно, римский папа Клемент VIII потребовал у независимой Венецианской республики его выдачи. Вот какую характеристику дали узнику судебные власти Венеции: «Он совершил тяжчайшие преступления в том, что касается ереси, но это один из самых выдающихся и редчайших гениев, каких только можно себе представить, и обладает необычайными познаниями, и создал замечательное учение». Тем не менее в 1593 г. Бруно выдали римским церковным властям.

В тюрьме инквизиции Бруно провёл долгие годы. От него требовали отречься от «еретического» учения. На следствии он держался с редким мужеством и достоинством, открыто отстаивая свои взгляды. «Непосредственно я не учил тому, что противоречит христианской религии, хотя косвенным образом выступал против...» — заявил Бруно в лицо следователям инквизиции — событие беспрецедентное.

Смертный приговор учёному был вынесен 8 февраля 1600 г. «Вероятно, вы с большим страхом выносите мне приговор, чем я выслушиваю его! — сказал осуждённый и добавил: — Сжечь — не значит опровергнуть». 17 февраля Бруно по обычаю инквизиции был заживо сожжён на костре в Риме, на площади Цветов.

В марте 1610 г. вышла книга Галилея «Звёздный вестник», в которой он описал свои открытия. Он послал книгу Кеплеру. Кеплер написал ответ — «Разговор со Звёздным вестником», где выразил полное доверие наблюдениям Галилея. Поддержка Кеплера была очень важна для Галилея. Кеплер предложил для «звёзд» Юпитера и для Луны название «спутник». Однако Галилей не смог понять законы Кеплера и не принял его догадку о связи морских приливов с Луной. Кеплер понимал, что Солнце притягивает планеты и поэтому их движение нельзя считать свободным — инерционным. Галилей же считал, что небесные тела не взаимодействуют, поэтому инерционное движение есть движение по окружности.

У Солнца нет решительно никаких свойств, по которым мы могли бы выделить его из всего стада неподвижных звёзд; поэтому утверждение, что каждая звезда есть Солнце, является совершенно разумным; теперь начните рассчитывать, сколько пространства в мире вы назначаете Солнцу для его собственного пользования и обитания, где оно оставалось бы холостяком и свободным от других родственных ему звёзд; затем примите во внимание неисчислимое количество звёзд и начните назначать столько же места каждой из них как бы ей во владение; тогда уже вы неизбежно придёте к необходимости признать всю область неподвижных звёзд гораздо большей, чем то, что вам представляется теперь чрезмерно обширным.

Что же касается того, что мог бы раскрыть мне рассудок сверх даваемого мне чувствами, то ни мой разум, ни мои рассуждения не в состоянии остановиться на признании мира либо конечным, либо бесконечным, и поэтому здесь я полагаюсь на то, что в этом отношении установят более высокие науки.

Галилео Галилей

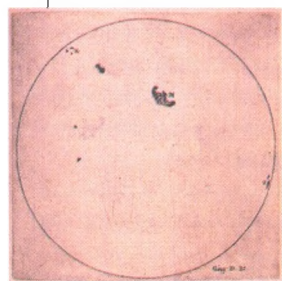


Наибольшим из всех чудес представляется то, что я открыл четыре новые планеты и наблюдал свойственные им собственные движения и различия в их движениях относительно друг друга и относительно движений других звёзд. Эти новые планеты движутся вокруг другой очень большой звезды так же, как Венера, и Меркурий, и, возможно, другие известные планеты движутся вокруг Солнца.

Галилео Галилей

В октябре 1610 г. Галилей открыл фазы Венеры, которые наблюдают только, если Венера отражает свет Солнца и движется вокруг него. Тогда же Галилей увидел на Солнце тёмные пятна и понял, что пятна находятся на вращающемся Солнце. Он обнаружил, что в центре пятно темнее, чем по краям, пятна появляются группами, чаще всего в пределах двух поясов по обеим сторонам от солнечного экватора и никогда не видны вблизи полюсов.

Весной 1611 г. Галилей выступил с докладом перед членами коллегии римского папы. Коллегия подтвердила открытия Галилея и разрешила публикацию книги «История и демонстрация солнечных пятен» (1613 г.).



Галилеева зарисовка Солнца с пятнами.

Мне кажется, что сеньор Галилео мудро поступает, что говорит предположительно. Я всегда полагал, что так говорил и Коперник. Потому что, если сказать, что гипотеза о движении Земли и неподвижности Солнца позволяет описать все явления лучше, чем принятие эпициклов, то это будет сказано прекрасно и не влечёт за собой никакой опасности. Для математика этого вполне достаточно. Но утверждать, что Солнце и действительно является центром мира, и вращается только вокруг себя, не передвигаясь с востока на запад, что Земля находится на третьем небе и с огромной быстротой вращается вокруг Солнца, — утверждать это значило бы нанести вред Святой вере, представляя положения Святого Писания ложными.

Из письма кардинала Роберто Беллармино. 1615 г.

5 марта 1616 г. вышел декрет папы Павла V, запрещающий учение Коперника.

В 1623 г. вышла первая научно-популярная книга Галилея «Пробирных дел мастер». Он посвятил её новому папе Урбану VIII.

В конце 1629 г. Галилей завершил «Диалог о двух главнейших системах мира — Птолемеевой и Коперниковой» на итальянском языке. В начале 1632 г. появились первые экземпляры этой книги. «Диалог» длится четыре дня, его ведут три собеседника — Сальвиати, Сагредо и схоласт Симпличио (ит. «простак»).

В первый день обсуждается сходство земного и лунного миров. Тема второго дня — вращение Земли вокруг оси. Сальвиати утверждает, что вращение Земли неощутимо для её обитателей, потому что тела имеют «неистребимо запечатлённое движение» (инерция). На третий день говорит об обращении



Титульный лист книги Галилея «Пробирных дел мастер».



Титульный лист Галилеевых «Диалогов».

Земли вокруг Солнца. По мнению Сальвиати, из-за обращения Земли у звёзд должны быть малые годовые колебания. Их можно обнаружить, если следить за относительным перемещением двух близких звёзд, различающихся по яркости. Он описывает метод дифференциальных параллаксов, который стали использовать в XIX в. Сальвиати полагает, что звёзды находятся на разных расстояниях от Солнца и небесной сферы не существует. В течение четвёртого дня обсуждаются морские приливы.

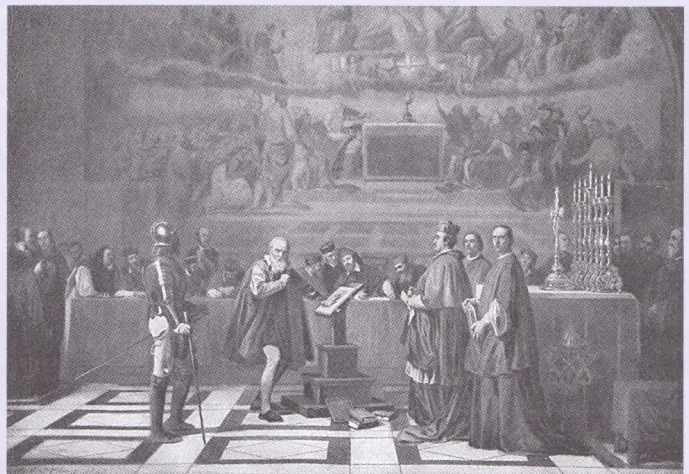
Враги Галилея убедили папу Урбана, что в лице простака Симпличио изображён именно он. В августе 1632 г. была запрещена продажа «Диалога», а в сентябре Священная коллегия вызвала Галилея в Рим. 70-летний старец прибыл в Рим 13 февраля 1633 г. Процесс начался в апреле. Галилея признали виновным в нарушении церковных запретов и приговорили к пожизненному тю-

ремному заключению. Папа заменил тюремное заключение ссылкой: Галилею было разрешено жить на его вилле Арчетри (близ Флоренции) без права выезда.

Галилей болел и постепенно терял зрение. В 1637 г. он успел, до наступления полной слепоты, открыть

Ознакомившись со всем ходом дела и выслушав показания, Святейший определил допросить Галилея под угрозой пытки, и если устоит, то после предварительного отречения, как сильно подозрительного в ереси, в пленарном собрании конгрегации святой инквизиции приговорить к заключению по усмотрению святой конгрегации. Ему предписано не рассуждать более письменно или устно каким-либо образом о движении Земли, и о неподвижности Солнца, и о противном под страхом наказания как неисправимого. Книгу же, сочинённую им под заглавием «Диалог Галилея», запретить.

Из постановления конгрегации святой инквизиции. 1633 г.



Галилей перед судом инквизиции.

Я более не упорствую в этом мнении Коперника после чего, как мне сообщено приказание, дабы я от него отрёкся. К тому же я здесь в ваших руках и делайте со мной всё по вашему усмотрению.

Галилео Галилей



Когда я на днях осведомлялся в Лейдене и Амстердаме, нет ли там «Системы мира» Галилея, мне подтвердили, что её напечатали, но сказали, что все экземпляры были тогда же сожжены в Риме, а сам Галилей как-то наказан. Это меня поразило настолько, что я почти решился сжечь все мои бумаги или по крайней мере никому их не показывать... Не могу себе представить, чтобы его осудили за что-либо иное, чем за желание доказать движение Земли. Такое учение было осуждено некоторыми кардиналами, и я слышал, что его нельзя излагать публично даже в Риме, но я признаю, что если оно ложно, то ложны все основы моей философии, ибо из них оно явно следует.

Рене Декарт

явление либрации — покачивания Луны, благодаря которому можно видеть больше половины поверхности Луны.

В Арчетри Галилей написал книгу «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых наук, механики и законов падения». Он передал рукопись французскому послу в Риме графу де Ноэлю, своему бывшему студенту. В «Беседах» герои «Диалога» обсуждают падение тел, качание маятника, равноускоренное движение, прочность механизмов, вычисляют площади и объёмы тел, применяют закона рычага. «Беседы» были изданы в Голландии в 1638 г.

8 января 1642 г. Галилей умер. Папа Урбан VIII велел похоронить его без почестей. Через 85 лет власти Флоренции перенесли прах Галилея



Гробница Галилея в монашеском приделе собора Санта-Кроче во Флоренции.

Открытие спутников Юпитера, фаз Венеры, солнечных пятен и т. д. потребовало лишь наличия телескопа и некоторого трудолюбия, но нужен бы был необыкновенный гений, чтобы открыть законы природы в таких явлениях, которые всегда пребывали перед глазами, но объяснение которых тем не менее всегда ускользало от изысканий философов.

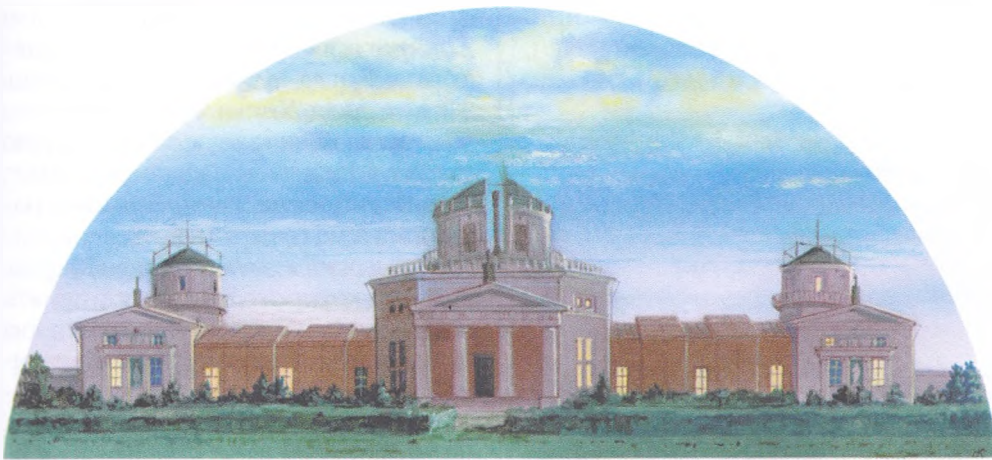
Жозеф Луи Лагранж. «Механика»

в усыпальницу собора Санта-Кроче. Через 340 лет папа Иоанн Павел II снял обвинения с Галилея.



Страница из рукописи Галилея с его рисунками.





НА ПУТИ К СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА

ИСААК НЬЮТОН

В рождественскую ночь 1642 г. (согласно современному календарю, 4 января 1643 г.) в деревушке Вулсторп в доме недавно скончавшегося фермера Ньютона родился мальчик. Младенец появился на свет тихим, слабым и таким маленьким, что его можно было искупать в миске. Ему дали имя отца — Исаак. Он пришёл в мир в тот год, когда во Флоренции предали земле прах Галилея.

Главные годы жизни Ньютона прошли в стенах колледжа Святой Троицы Кембриджского университета. Он любил одиночество, его голос слышали редко. Ньютон терпеть не мог споров, особенно научных, и поэтому всячески избегал публикаций. А размышлять и писать он любил.



Исаак Ньютон.

В своём уединении этот тихий, молчаливый человек совершил переворот в отношениях человека и



природы, в нашем миропонимании. Он создал язык классической науки, на котором она думает и говорит уже три века.

Гений науки был достойным сыном своего времени. Отстаивая права Кембриджского университета, он один посмел сказать Якову II, что закон выше короля. Новые деньги, отчеканенные Ньютоном в невероятно короткие сроки, способствовали процветанию британской экономики в течение всего XVIII столетия. Старый Исаак Ньютон принимал на Монетном дворе Петра I. Незадолго до смерти сэр Исаак получил известие, что русский царь основал-таки в Петербурге Императорскую академию наук и художеств. Это тоже можно считать наследием Ньютона.

Детство Ньютона прошло в годы гражданских войн в Англии. Когда Исааку шёл четвёртый год, его мать вышла замуж за пожилого пастора и уехала к нему в дом. Исаак остался с бабушкой. Через шесть лет мать Ньютона вторично овдовела и вернулась в усадьбу с тремя детьми. Исаак очень любил мать, только рядом с ней он не чувствовал себя одиноким. Среди сверстников друзей у него не было. Он не участвовал в шумных играх, требовавших физической силы и сноровки, в которых проигрывал. Зато Исаак часто выигрывал в шашки и всегда подчёркивал своё превосходство.

Дом И. Ньютона.
Вид со двора.
На стене —
солнечные
часы, сделанные
школьником
И. Ньютоном.



Читать, писать и считать Ньютон выучился в сельских школах Вулсторпа. Когда Исааку исполнилось 12 лет, дядя Уильям отправил его учиться в бесплатную королевскую школу в Грантеме. Здесь он изучал латинский язык, Закон Божий и начала математики.

Исаак жил в доме аптекаря Кларка, с женой которого была дружна мать Ньютона. В семье аптекаря было два сына и дочь. Исаак дружил с девочкой и враждовал с её братьями. Мальчики учились с ним в одном классе. Ньютон по успеваемости был в числе последних. Но после очередной ссоры с братьями Исаак решил обойти их в учёбе и добился своего, став лучшим учеником в школе. Он увлёкся латинским языком и началами богословия.

После школьных занятий Исаак предпочитал проводить время дома. Он мастерил сложные механические игрушки, модели водяных мельниц, самокаты, водяные и солнечные часы. Ему удалось сделать из дерева и ткани маленькую копию ветряной мельницы, построенной в Грантеме, и установить её на крыше дома аптекаря. Мельница работала даже при слабом ветре. В безветренную погоду её крылья вращали пойманные мыши. Исаак увлекался также воздушными змеями, запуская их ночью с бумажными цветными фонарями, а в городе распространились слухи, что опять появилась комета.

В доме аптекаря Исаак получил элементарные сведения по химии и увлёкся алхимией. Он проводил много времени в библиотеке, выписывая из книг сведения о правилах рисования пером и красками, о химических опытах, о лекарственных травах и медицинских снадобьях. Все книги были на латинском языке.

Осенью 1658 г. мать забрала Исаака из Грантема. Ей нужен был помощник в хозяйственных работах. Но фермер из Ньютона не полу-



чился. Он не интересовался своими владениями. Когда Исаака отправляли в Грантем продавать урожай, он оставлял слугу на рынке, а сам шёл в библиотеку к аптекарю или навещал директора школы Стокса. Стокс и дядя Уильям убедили мать Исаака позволить сыну продолжить учёбу в Королевской школе. Осенью 1660 г. Стокс поселил Ньютона у себя и принялся готовить его к Кембриджскому университету. Исаак занимался латынью, древнегреческим и французским языками, изучал Библию. Стокс и дядя Уильям были уверены, что их любимец станет знаменитым богословом.

В Грантеме Исаак прочитал книги Джона Уилкинса «Математическая магия» и «Открытие нового мира на Луне». Он узнал о механических машинах, линзах, вечном двигателе для путешествия на Луну, системе мира Коперника и законах Кеплера. Эти две научно-популярные книги разбудили гений Ньютона. Богатое воображение, страсть к механике, склонность к систематизации и поискам связей между явлениями, религиозность и вера в свою исключительность (ведь он родился в рождественскую ночь) — всё это превратило юношеские увлечения Исаака в осознанное желание посвятить себя научному познанию как одной из форм служения Богу.

Ньютон прибыл в Кембридж в мае 1661 г., когда приём в университет был уже закончен. Однако, прочитав рекомендательное письмо дяди Уильяма, директор Тринити-колледжа (*англ.* Trinity — «Святая Троица») допустил Исаака к экзамену по латыни. Экзамен был сдан, и 18-летнего Ньютона зачислили в студенты колледжа в ранге сайзера. Так называли бедных студентов, которые, не имея возможности платить за учёбу, должны были прислуживать профессорам колледжа. Удивительно, что Ньютон попал в положение слуги. Его мать



входила в число двух тысяч самых богатых людей Англии, но на учёбу сына денег почти не выделяла.

Первые три года студенты изучали диалектику, риторику, латинский и греческий языки, богословие, философию, математику и астрономию. Особое внимание уделялось в Тринити-колледже изучению Библии. Ньютон увлёкся богословием. Он штудировал труды великого гуманиста Эразма Роттердамского, который в начале XVI в. жил и работал в Кембридже. За свою жизнь Ньютон написал много богословских трудов и считал их своим основным делом, хотя заметного вклада в развитие религиозного мировоззрения он не внёс.

Исаак был прилежным студентом: деньги тратил не на пирушки и развлечения, а на инструменты и книги. В 1663 г. он приобрёл книгу по индуистской астрологии, но она требовала знаний по геометрии и тригонометрии. Тогда Ньютон купил и изучил учебник по евклидовой геометрии. В том же году он увлёкся оптическими опытами и прочитал трактат Иоганна Кеплера «Диоптрика».

В марте 1664 г. в колледже начал читать лекции по математике и оптике профессор Исаак Барроу (1630—1677), который сыграл очень важную роль в жизни Ньютона.

Обсерватория
в Кембридже.



Лекции Барроу помогли Ньютону разобраться в трудах французского мыслителя Рене Декарта (1596—1650), который ввёл в математику алгебраические обозначения с помощью букв латинского алфавита. Он же предложил метод координат для геометрического изображения функций, введённых Кеплером. Ньютон изучил его труды «Геометрия», «Трактат о свете» и «Начала философии».

В январе 1665 г. Ньютон получил степень бакалавра. К тому времени он имел свою программу исследований в богословии, математике и натуральной философии — физике.

В 1664 г. в Англии началась эпидемия чумы. За три года (с 1664 по 1667 г.) только в Лондоне умерло около 30 тыс. человек. Спасаясь от заразы, жители городов бежали в деревни. В августе 1665 г. Тринити-колледж был распущен до лучших времён. Ньютон уехал в Вулсторп, взяв с собой набор лекарственных трав, блокноты, книги, инструменты, призмы, линзы и зеркала. Он пробыл в Вулсторпе до марта 1667 г.

За два чумных года Ньютон сделал три своих главных открытия: метод флюксий и квадратур (дифференциальное и интегральное исчисления), объяснение природы света и закон всемирного тяготения. Об удивительном творческом подъёме тех лет Ньютон позже вспоминал как о лучшей поре своей жизни.

Метод флюксий и квадратур изложен в пяти коротких мемуарах — так раньше называли научные записки. Они были написаны между 20 мая 1665 г. и ноябрём 1666 г. и содержали геометрические чертежи и формулы. В них Ньютон рассмотрел несколько математических задач, важных для механики и оптики.

С оптики-то всё и началось. Фокусное расстояние линзы определя-

ется кривизнами её поверхностей. Радиус кривизны тогда определяли на глазок, вычерчивая касательные к поверхности линзы в нескольких точках. Ньютон поставил цель найти аналитический, вычислительный способ вместо грубого геометрического. Обобщив достижения своих предшественников — Джона Валлиса и Исаака Барроу, он создал то, что назвал потом методом флюксий. Через некоторое время Ньютон понял, что процедура построения касательных к функции является обратной по отношению к процедуре вычисления площади под графиком этой функции. Это привело учёного к открытию метода обратных функций — сегодняшнего интегрального исчисления. (Здесь мы следуем терминологии Готфрида Лейбница, который открыл те же методы независимо от Ньютона, хотя и позже.) С помощью своего метода Ньютон мог быстро находить касательные, площади и объёмы любых сложных фигур, что было актуальным для торговли и строительства. Но главное применение его открытий было впереди.

Ньютон начал заново обдумывать систему мира Декарта, в которой природа оптических явлений и тяготения одна и та же. Но вихри Декарта не согласовывались с законами Кеплера, с движением комет. «Натуральную философию» Рене Декарта не удалось подтвердить математически.

Когда наглядная и симпатичная теория Декарта лопнула, не выдержав простых физических расчётов, Ньютон оказался в кризисе. Он отчаялся когда-либо узнать, имеется ли у природы скрытый принцип, который одновременно является причиной и движения небесных тел, и силы тяжести на Земле. Все силы Ньютон стал отдавать изучению природы света.

Однажды, закончив опыты в темноте и духоте лаборатории, вулсторп-



ский затворник вышел в сад. Был тихий августовский вечер, канун Преображения. Солнце закатилось, из-за кустов боком вышла круглая Луна — скоро полнолуние.

Стук упавшего яблока опять вернул его к давним размышлениям о законах падения: «Почему яблоко всегда падает отвесно... почему не в сторону, а всегда к центру Земли? Должна существовать притягательная сила в материи, сосредоточенная в центре Земли. Если материя так тянет другую материю, то должна существовать пропорциональность её количеству. Поэтому яблоко притягивает Землю так же, как Земля яблоко. Должна, следовательно, существовать сила, та, которую мы называем тяжестью, простирающаяся по всей Вселенной».

Ньютон вернулся в Кембридж в апреле 1667 г. В октябре того же года его избрали младшим членом колледжа, и он получил небольшую стипендию. При посвящении в члены колледжа он дал клятву, в которой подтвердил, что исповедует религию Христа, свои исследования посвящает Богу и не вступит в брак, будучи членом колледжа.



В 1668 г. Ньютон построил первый отражательный телескоп. Через год он получил должность профессора и кафедру в Тринити-колледже. В его обязанности входило чтение лекций по греческому языку, математике и натуральной философии, которую он читал как курс своей физики. На лекции Ньютона мало кто ходил: они были сложными по содержанию и непривычными по манере изложения. Ньютон не любил пространных рассуждений и примеров. Лишь со временем его лекции стали нормой преподавания науки.



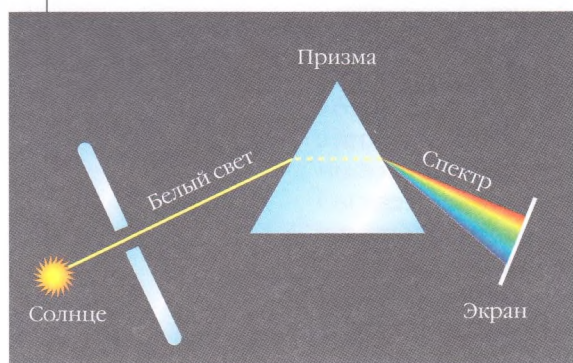
Телескоп
И. Ньютона.

6 февраля 1672 г. Ньютон представил Лондонскому королевскому обществу естественных наук доклад «Новая теория света и цветов». Этот мемуар был переработкой его «Лекций по оптике».

Некоторые члены Общества высоко оценили работу Ньютона. Известный шотландский математик и астроном Джеймс Грегори писал: «Я был крайне поражён опытами г-на Ньютона; они, по всей видимости, вызовут великие перемены во всей натуральной философии...» Однако в целом отношение к Ньютону было недоброжелательным.

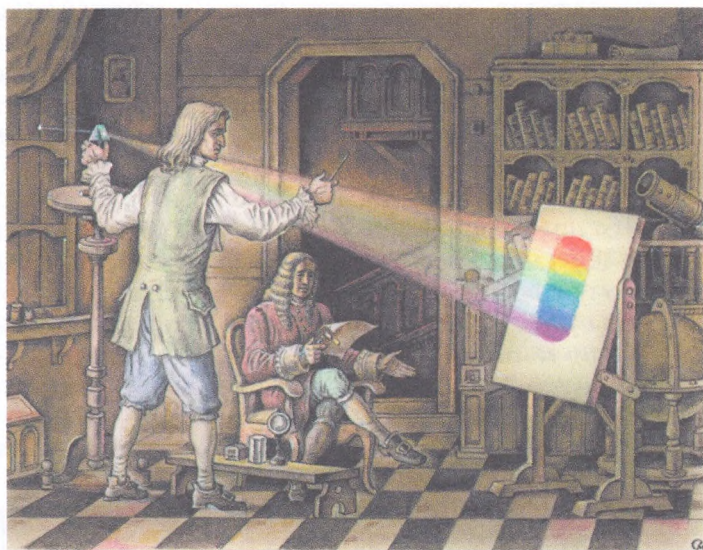
В ходе полемики Ньютон убедился в своём превосходстве как экспериментатора и математика. Учёного раздражали некомпетентность

◀
И. Ньютон
в саду.



Опыт И. Ньютона по разложению света в спектр.

► И. Ньютон получает спектр солнечного света.



и снобизм оппонентов, Ньютон не находил ничего интересного в их отзывах и уже не хотел тратить время на бесплодные споры. В письме секретарю Королевского общества Ольденбургу от 8 марта 1673 г. он просил вычеркнуть его из списка членов Общества, но тот сумел уговорить Ньютона не покидать Общество. Вскоре учёный вновь написал Ольденбургу о том, что не желает заниматься натуральной философией и отказывается отвечать на критические замечания, чтобы «сохранить спокойную свободу».

В 1675 г. истёк срок пребывания Ньютона в колледже. Чтобы остаться членом колледжа, он должен был принять сан священника. Ньютон не вполне принимал догмат триединства Бога, так как это противоречило его представлениям о едином Боге, поэтому не видел себя священником. Он поехал в Лондон, чтобы добиться королевского разрешения остаться членом колледжа, не принимая сана. Разрешение он получил, что было знаком большого расположения к нему короля.

В 1677 г. скончался Исаак Барроу. Ньютон очень тяжело переживал раннюю смерть своего учителя

и друга. В 1678 г. умер Ольденбург, переписка с которым была для Ньютона единственным связующим звеном с научным сообществом. Он оказался в научной изоляции и привёл в исполнение свою угрозу «порвать с философией», хотя и продолжал физические и химические эксперименты и астрономические наблюдения.

В библиотеке Ньютона было около 100 книг по химии и алхимии. В течение 30 лет (с 1666 по 1696 г.) он занимался химическими опытами и металлургией. Сохранился только один химический мемуар Ньютона — «О природе кислот». В нём есть замечательное размышление о золоте и ртути: «Золото состоит из взаимно притягивающихся частиц, сумму их назовём первым соединением (сегодня оно называется атомным ядром. — Прим. ред.), а сумму этих сумм — вторым (атомом. — Прим. ред.) и т. д. Ртуть и царская водка (смесь концентрированных кислот: азотной и соляной. — Прим. ред.) могут проходить через поры между частицами последнего соединения, но не через иные. Если бы раство-



ритель мог проходить через другие соединения, иначе, если бы можно было разделить частицы золота первого и второго соединений (если бы можно было разделить атомное ядро! — *Прим. ред.*), то золото сделалось бы жидким и текучим. Если бы золото могло течь, то оно могло бы быть превращено в какое-нибудь другое вещество». Эта ньютоновская гипотеза на современном языке означает, что для разрушения атомов золота надо найти способ разделения атомных ядер — «первых соединений». Гений — он и в алхимии гений. Ньютон много занимался металлургическими опытами, часто использовал ртуть и поэтому к 30 годам стал совсем седым.

В 1680 г. Ньютон вернулся к задачам механики и к проблеме тяготения. В тот год появилась яркая комета. Ньютон уже знал, что небесные тела вблизи Солнца должны двигаться по эллипсам, параболам или гиперболам. Лишь обладая такой гипотезой, можно было построить по нескольким наблюдениям пространственный путь кометы, так как наблюдают ведь только направление на комету, но не расстояние до неё. Ньютон лично провёл наблюдения и первым в астрономии построил и начертил орбиту кометы. Путь кометы 1680 г. оказался параболой, что подтвердило теорию тяготения Ньютона. Как обычно, он описал результаты своего открытия, а рукопись легла в стол.

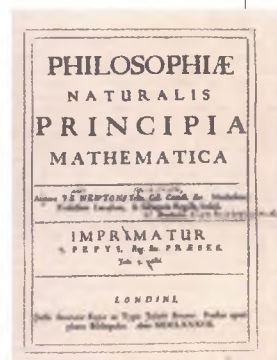
Такие же наблюдения кометы в 1682 г. провёл Эдмунд Галлей, но он не владел методом построения орбит, уже известным Ньютону.

В августе 1684 г. Галлей был в Кембридже и посетил Ньютона. Оказалось, что у того есть решение и этой, и многих других задач, связанных с движением небесных тел. К тому же есть почти готовая книга — величайшая из книг о природе, сравнимая по своей культурно-исторической

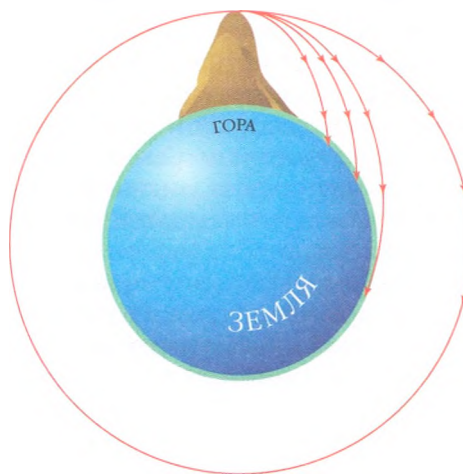
значимости, может быть, только с Библией, — опус под названием «Математические начала натуральной философии» (*лат.* *Philosophiæ naturalis principia mathematica*). Галлей умолил Ньютона напечатать рукопись и взял на себя все расходы по её изданию. Книга вышла в 1687 г. Её тираж (250 экземпляров) быстро разошёлся, и скоро она стала редкостью.

«Начала» написаны в стиле Евклида, и главная их цель — доказать, что закон всемирного тяготения следует из наблюдаемого движения планет, Луны и земных тел, которое анализируется с помощью ньютоновских принципов динамики.

Книга состоит из введения и трёх разделов. В третьем, астрономическом разделе Ньютон выводит закон всемирного тяготения и его следствия. Он показывает, что из законов Кеплера и трёх законов динамики следует существование силы тяготения между Солнцем и планетами. Сила тяготения обратно пропорциональна квадрату расстояния между планетой и Солнцем. Ньютон доказывает, что тяготение Луны вызывает приливы океанов на Земле, что тяготение Земли и Солнца есть причина сложного движения Луны, а тяготение Солнца порождает прецессию земной оси и многообразие



Титульный лист книги И. Ньютона «Математические начала натуральной философии».



Камень, брошенный с вершины горы с достаточной скоростью, может стать спутником Земли (по рисунку И. Ньютона).



кометных орбит. Ньютон приходит к выводу, что «тяготение ко всей планете происходит и складывается из тяготения к отдельным частям её». Тогда любая частица имеет силу притяжения, а сила тяготения между двумя частицами пропорциональна произведению масс этих частиц. «Сила тяжести иного рода, нежели сила магнитная, ибо магнитное притяжение не пропорционально притягиваемой массе».

В «Началах» Исаак Ньютон использовал только геометрические методы. Тем самым он сделал свой труд доступным современникам: ведь большинство из них не знало флюксий и квадратур. Годы старости Ньютона были омрачены спором с Лейбницем о том, кому из них принадлежит приоритет открытия методов нового исчисления.

Ньютон ждал реакции на «Начала». Рецензии друзей, философа Джона Локка и Галлея, были доброжелательными. Лейбниц и Гюйгенс, напротив, полностью отвергли взаимодействие на расстоянии и взаимное тяготение частиц, придерживаясь вихрей Декарта. Роберт Гук выступил в Обществе с претензиями, что все идеи «Начал» он давно предлагал, а те, которые не предлагал, ошибочны. Просто у него не было времени изложить свою систему на бумаге. Ньютон был раздосадован. Действительно, Гук иногда высказывал сходные идеи, но путано и бездоказательно. Он мог бы стать единомышленником и коллегой Ньютона, но оказался крайне недоброжелательным критиком. Самолюбие и обидчивость не позволили Ньютону забыть резкость высказываний Гука до конца жизни.

Вселенная, заполненная телами, которым присуща сила тяготения, согласно Ньютону, должна быть бесконечной. В этом случае материя «никогда не сбилась бы в одну массу, а одна часть образовала бы одну массу, другая —

другую, так что образовалось бы бесконечное число больших масс, рассеянных на больших расстояниях одна от другой по всему этому бесконечному пространству. Именно так могли бы образоваться Солнце и другие звёзды».

В конце 1691 г. в доме Ньютона произошёл пожар. Погибло много рукописей. Пожар потряс Ньютона настолько, что у него наступило временное умопомешательство. После выздоровления он вернулся к прежней жизни.

В 1694 г. Чарлз Монтегю, друг Ньютона, был назначен канцлером казначейства и пригласил Ньютона на должность смотрителя Монетного двора с 600 фунтами годового жалованья. Готовилась финансовая реформа, и Монтегю рассчитывал на его познания в металлургии и механике. Ньютон принял предложение и перебрался в Лондон.

После гражданских войн Англия была наводнена фальшивыми деньгами. Государственные монеты легко подделывали, потому что процесс их чеканки был очень прост. При Карле II на Монетном дворе поставили новую штамповочную машину и начали чеканку новых монет правильной формы и с надписью по ободку. Дело шло очень медленно, а для преодоления кризиса необходимо было в короткий срок перечеканить все монеты.

Ньютон быстро разобрался в работе Монетного двора и организовал её так, что скорость чеканки увеличилась в восемь раз. Он столкнулся с политическими дразгами, забастовками служащих Монетного двора. На него писали доносы, ему предлагали взятки. Однако в эпоху всеобщей коррупции он строго и честно выполнял свои обязанности. Перечеканка закончилась в 1699 г., и денежная реформа за неделю была совершена, вызвав, правда, волнения



в Лондоне. Благодаря этому успеху Ньютон получил должность директора Монетного двора.

В 1703 г., после смерти Гюка, Ньютона избрали президентом Лондонского королевского общества. В 1704 г. опубликована вторая книга — «Оптика». В отличие от «Начал», написанных на латыни, «Оптика» написана по-английски. Ньютон хотел, чтобы его книга была доступна как можно большему кругу читателей.

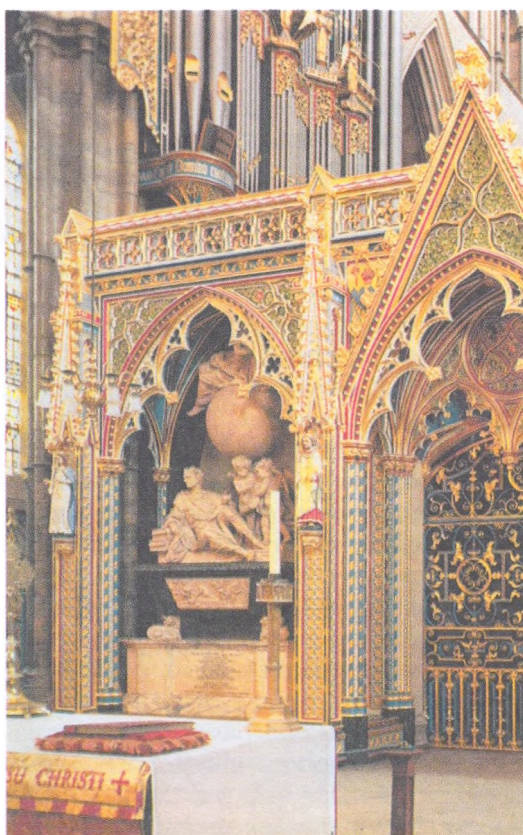
Первый раздел «Оптики» посвящён геометрической оптике и описанию состава белого света. Во втором рассматриваются опыты с цветами тонких плёнок, в третьем описаны явления дифракции (огибания светом препятствий).

С 1700 г. Ньютон — член парламента от Кембриджского университета. В апреле 1705 г. королева Анна посвятила Ньютона в рыцари.

В 1722 г. у Ньютона начались старческие болезни, но он продолжал находиться на посту президента Общества и руководить Монетным двором. Он пробовал опять заняться движением «строптивой» Луны, в котором оставалось много неувязок с теорией. Для этого Ньютон запрашивал у Галлея, ставшего директором Гринвичской обсерватории, дополнительные сведения о наблюдениях Луны. В 1726 г. он выпустил третье издание «Начал».

2 марта 1727 г. Ньютон, как обычно, председательствовал на заседании Общества. Вернувшись в загородный дом, он почувствовал острые приступы мочекаменной болезни и слёг. В ночь на 31 марта на 85-м году жизни Ньютон тихо скончался.

Исаак Ньютон похоронен в Вестминстерском аббатстве. Над его могилой высится памятник с эпитафией: «Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, дворянин, который почти божественным разумом первый до-



казал с факелом математики движение планет, пути комет и приливы океанов. Он исследовал различие световых лучей и проявляющиеся при этом различные свойства цветов... Прилежный, мудрый и верный истолкователь природы, древности и Святого Писания, он утверждал своей философией величие всемогущего Бога, а нравом выражал евангельскую простоту. Пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого».

Незадолго до смерти Ньютон говорил: «Не знаю, чем я могу казаться миру, но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, развлекающимся тем, что иногда отыскиваю камешек более цветистый, чем обыкновенно, или красивую ракушку, в то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным».

Надгробие
И. Ньютона
в Вестминстерском
аббатстве.



ЗВЁЗДНЫЙ ЧАС МИХАЙЛО ЛОМОНОСОВА

Всю жизнь Ломоносову не была чужда астрономия. Родом он был из Холмогор — села, в котором за поколение до него была основана первая русская обсерватория, и угломерным поморским прибором умел пользоваться. Но звёздный час для Ломоносова-астронома наступил в 50 лет.

26 мая 1761 г. европейские астрономы, разъехавшиеся по всей Евразии, прильнули к окулярам своих телескопов. Они всматривались в дрожащий край Солнца, на котором с минуты на минуту должна была появиться чёрная горошина — диск планеты Венеры. Шла одна из первых международных научных акций — наблюдение за прохождением Венеры по диску Солнца. Точное измерение моментов его начала и конца в разных местах Земли позволяло уточнить параллакс Солнца, а значит, и расстояние до него — астрономическую единицу.

Ломоносов наблюдал не по общей программе, но «любопытства больше для физических примечаний». Вступление началось в четыре часа утра. В тот момент край Солнца слегка прогнулся, словно уступая натиску планеты, и стал «неявствен и несколько будто стущёван, а прежде был чист и везде равен». В последний момент вхождения ему показалось, что позади Венеры на краю Солнца образовался выступ. Но Венера ещё надвинулась на Солнце, и выступ исчез.

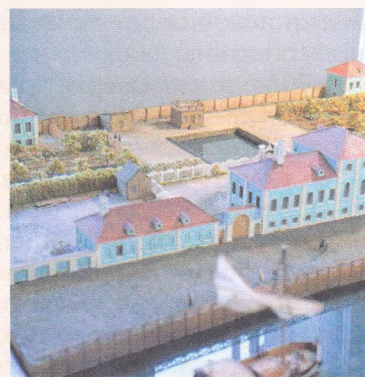
Времени для раздумий было достаточно. Шесть часов Венера ползла по солнечному диску к другому краю. Теперь Ломоносов знал, на что ему надо обратить внимание.

До края Солнца оставалось ещё около $1/10$ «Венерина диска», а на нём уже появился «пупырь, который тем явственнее учинялся, чем ближе Венера к выступлению приходила... Вскоре оный пупырь потерялся, и Венера оказалась вдруг без края». Полное схождение с диска «было также с некоторым отрывом и неясностью солнечного края».

«По сим замечаниям (наблюдениям. — Прим. ред.), — писал учёный в академическом отчёте, — господин советник Ломоносов рассуждает, что планета Венера окружена знатной атмосферой, таковой (лишь бы не большею), какова обливается около нашего шара земного».



Ф. И. Шубин. Бюст Михаила Васильевича Ломоносова.



Макет Обсерватории М. В. Ломоносова на Мойке в Петербурге.

Разумеется, явление Ломоносова (так его потом будут называть) видели многие астрономы. Но видели, да не увидели. Ведь дело в том, какими глазами смотреть. Для геометра, измеряющего расстояние, «неясность края» мешает точности; для человека же, ищущего «физических примечаний», здесь масса тонкостей. Ломоносов смотрел как астрофизик. У него были глаза учёного XIX в. Такие же глаза были у молодого английского музыканта Уильяма Гершеля, но он пока ещё ни разу не смотрел в телескоп.

Обнаружение атмосферы на другой планете — одно из ярчайших открытий XVIII в. Ломоносов хотел сразу развить его дальше. В его планы входило детальное изучение поверхности планеты, которая могла оказаться обитаемой. Даже её горам он заранее дал названия: Семирамида, Клеопатра, Сафо (в его записках 1763 г.).

Ровно 200 лет спустя после звёздного года Ломоносова, в 1961 г., к Венере пошла отечественная космическая станция — самая первая в мире. Радиоастрономия и космонавтика раскрыли многие тайны Венеры. На Венере теперь есть и кратер Сафо, и кратер Клеопатра.

Ломоносов готовил новые средства наблюдения. Он разрабатывал и совершенствовал «ночезрительные трубы», или «ночегляды». По своей схеме он изготовил телескоп-рефлектор с наклонным главным зеркалом без дополнительного. Эта схема телескопа носит название Ломоносова — Гершеля.



ВОСЕМНАДЦАТЫЙ ВЕК И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

В XVII в. быстро развивалось мореплавание. Для составления точных географических карт был необходим метод измерения долгот. Чтобы решить эту проблему, были основаны первые в Европе государственные обсерватории: Парижская, Копенгагенская, Гринвичская. Естественные науки и математика впервые стали делом политической важности. На пороге XVIII столетия Ньютон объяснил законы Кеплера, используя свою гипотезу о тяготении. В конце века Лаплас создал модель гравитационной Вселенной — мира, построенного на законе всемирного тяготения Ньютона.

ПАРИЖСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ И ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОТ

В 1666 г. во Франции появилась Академия наук. Её организовал министр финансов короля Людовика XIV Жан Батист Кольбер. Официальным президентом академии считался король,

но фактическим её руководителем был голландский астроном Христиан Гюйгенс (1629—1695). Гюйгенс изобрёл двухлинзовый окуляр и построил телескоп, имевший длину трубы 7,2 м. В этот телескоп он увидел, что кольцо Сатурна «тонкое и плоское, нигде не соприкасается с планетой и наклонено к эклиптике», открыл спутник Сатурна Титан, полярные шапки Марса и полосы на Юпитере. В 1657 г. Гюйгенс изобрёл маятниковые часы с механизмом спуска гири. Эти часы использовались для регистрации точных моментов астрономических наблюдений.

Для решения проблемы определения долгот король выделил средства для строительства обсерватории и по совету французского астронома Жана Пикара (1620—1682) на должность директора пригласил в 1668 г. итальянского астронома Джованни Доменико Кассини (1625—1712) — профессора Болонского университета. У Кассини были таблицы собственных наблюдений галилеевых спутников Юпитера, которые он использовал в 1666 г. для определения долготы. В 1664 г. он измерил



Джованни
Доменико
Кассини.

Парижская
обсерватория.



Христиан Гюйгенс.

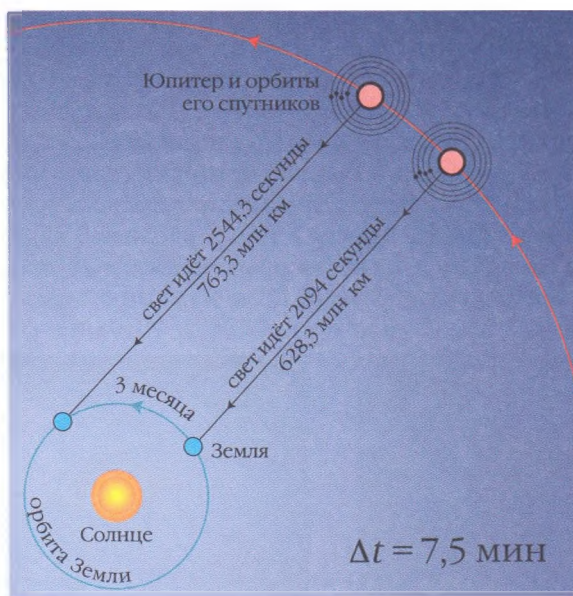




период вращения Юпитера и его сжатие, в 1666 г. — период вращения Марса.

Строительство Парижской обсерватории, первой государственной обсерватории в Европе, закончилось в 1671 г. Кассини открыл спутники Сатурна — Япет (1671 г.), Рею (1672 г.), Тетис и Диону (1684 г.). В 1675 г. он обнаружил, что кольцо Сатурна состоит из двух частей, разделённых тёмным промежутком — делением Кассини. Астроном изучал вращение Солнца, а в 1679 г. составил большую карту Луны. Кассини измерил астрономическую единицу с точностью до 8 %. Для этого он использовал измерения зенитного расстояния Марса в Кайенне (Северное побережье Южной Америки) и в Париже в один и тот же момент.

► Оле Кристиансен
Рёмер.



Проводя измерения периода орбитального вращения спутника Юпитера Ио, О. Рёмер заметил, что при движении Юпитера от противостояния к соединению период обращения Ио увеличивается. Связав это изменение периода Δt с увеличением расстояния от Земли до Юпитера Δr по формуле $c = \Delta r / \Delta t$, Рёмер получил первую надёжную оценку скорости света.



В 1671 г. по приглашению Пикара в Парижской обсерватории начал работать датский астроном Оле Кристиансен Рёмер (1644—1710). Для проверки расчётов Кассини он наблюдал затмения спутника Юпитера — спутник попадает в тень планеты. Период обращения спутника Ио примерно равен 42,5 часа. В течение полугода, когда Земля, двигаясь по орбите вокруг Солнца, удалялась от Юпитера, затмения наблюдались каждый раз со все большим запаздыванием по сравнению с рассчитанным моментом. Рёмер понял, что свет имеет конечную скорость, поэтому ему требуется всё больше времени для достижения Земли. Если интервал между наблюдениями равен половине года, то это расстояние равно диаметру орбиты Земли, которое Пикар определил в 276 млн км (правильное значение — 299 млн км). Время запаздывания было примерно равно 21,4 мин (правильное значение 16,6 мин). Рёмер разделил диаметр орбиты Земли на время запаздывания и получил скорость света 215 000 км/с (правильное значение 299 800 км/с). Из-за гонений на протестантов Рёмер в 1681 г. покинул Францию. В Копенгагене он стал королевским астрономом и организовал и возглавил обсер-



ваторию в университете Копенгагена. Здесь Рёмер изобрёл пассажный инструмент (1689 г.) и меридианный круг (1690 г.), составил каталог около 1000 звёзд.

В 1712 г. директором обсерватории стал сын Кассини Жак (1677—1756). Он не верил в законы Кеплера и был сторонником учения Декарта, считал Землю вытянутым вдоль оси вращения сфероидом. Под руководством Жака Кассини были измерены дуги земных меридианов в Перу и Лапландии (1735—1743 гг.).

В 1756 г. пост директора обсерватории наследовал Сезар Франсуа Кассини (1714—1784), а затем Жак Доминик Кассини (1748—1845).

В Парижской обсерватории работал Николя Луи Лакайль (1713—1762). Он определял координаты звёзд Южного полушария и составил каталог 10 тыс. звёзд южного неба.

Во время Французской революции Жак Доминик Кассини был арестован. После освобождения он сложил с себя обязанности директора. В активной деятельности Парижской обсерватории наступил почти 40-летний перерыв — до вступления

в 1830 г. на должность директора Франсуа Араго (1786—1853), физика и астронома. Он открыл цветную поляризацию рассеянного света неба, взаимодействие электрического тока с магнитом, намагничивание металлов током, измерил длину меридиана Парижа, изобрёл поляриметр, фотометр, объяснял цветные мерцания звёзд интерференцией их света при рассеянии в атмосфере Земли.

ГРИНВИЧСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

Гринвичская обсерватория начала свою работу в 1676 г. Её первым директором — королевским астрономом — был Джон Флемстид (1646—1719). Король не выделил средств на приобретение инструментов. Если бы не наследство и богатый друг — сэр Джонас Мур, Флемстид не смог бы купить инструменты и заказать двухметровый секстант с телескопическим визиром. Несколько секстантов передал обсерватории физик Роберт Гук. Флемстид в течение 15 лет выполнил 20 тыс. измере-



Франсуа Араго.

Гринвичская
обсерватория.

Джон Флемстид.





Джеймс Брайлей.

ний положений Солнца, Луны, планет и звёзд в телескоп, соединённый с секстантом. По результатам этих наблюдений Флемстид составил каталог 3000 звёзд. В нём точность небесных координат светил равна 2".

Наблюдения Флемстида использовал Ньютон для расчёта координат Луны и составления таблиц её положений, которые позволяли определять долготы. В 1719 г. королевским астрономом стал Эдмунд Галлей (1656—1742).

Джеймс Брайлей (1693—1762) был назначен королевским астрономом в 1742 г. В 1727 г. Брайлей, наблюдая в течение года Υ Дракона, обнаружил, что звезда за год описала эллипс с большой осью 40". Брайлей понял, что открытая им абберация света связана с орбитальным движением Земли и есть следствие конечности скорости света. Это было первым наблюдательным подтверждением теории Коперника. Брайлей открыл нутацию земной оси. В течение 12

ЭДМУНД ГАЛЛЕЙ

Английский астроном, математик и геофизик Эдмунд Галлей родился 29 октября 1656 г. в Хаггерстоне (близ Лондона) в семье зажиточного мыловара. В 17 лет поступил в Оксфордский университет, где изучал физико-математические науки и филологию. В 1676 г. опубликовал первую научную работу — об орбитах планет, открыв большое неравенство Юпитера и Сатурна (непрерывное — «вековое» — возрастание скорости у одной и уменьшение у другой). Позднее (1693 г.) он обнаружил вековое ускорение и у Луны. Эти открытия впервые поставили перед астрономами проблему устойчивости Солнечной системы. Прервав учёбу, Галлей (добившись разрешения Лондонского королевского общества и самого короля) в 1676—1678 гг. совершил свою первую научную экспедицию — на остров Святой Елены, где составил первый каталог звёзд южного неба, включавший 341 звезду (опубликован в 1679 г.). Наградой стало избрание его в члены Лондонского королевского общества и учёная степень в Оксфордском университете.

В 1677 г. Галлей предложил и применил новый метод определения расстояния до Солнца (астрономической единицы) по наблюдениям прохождения по его диску Меркурия. Позже, посчитав более эффективными наблюдения прохождения ярчайшей планеты Венеры, Галлей рассчитал время и места наблюдений её очередного прохождения — в 1761 и 1769 гг. Метод Галлея позволил к концу XIX в. в 25 раз уменьшить ошибку при определении солнечного параллакса.

В Англии Галлей включился вместе с другими членами Лондонского королевского общества в исследования силы, которая управляет движением планет. Он самостоятельно установил (1684 г.), что она обратно пропорциональна квадрату расстояния до



Эдмунд Галлей.

планеты. Однако вывести из этого форму планетной орбиты ему, как и другим физикам, из-за математических трудностей задачи не удалось. Узнав, что проблема давно была решена известным кембриджским учёным Исааком Ньютоном, который, однако, не собирался публиковать свои результаты (и даже потерял расчёты), Галлей поехал к нему и убедил возобновить исследования, а затем взял на себя редактирование и расходы на публикацию великого труда Ньютона «Математические начала натуральной философии» (1687 г.).

Наиболее известны труды Галлея о кометах. До него их считали странниками, пролетающими через Солнечную систему по незамкнутым параболическим орбитам. Галлей показал (1705 г.), что кометы принадлежат Солнечной системе. Впервые такой вывод он сделал о Большой комете 1680 г., обратив внимание на сходство описания аналогичных событий в исторических хрониках, разделённых промежутками времени в 575 лет, и вывел первую чрезвычайно вы-



лет Баддлей измерял координаты звёзд и составил новый каталог 3268 звёзд (точность 1").

Королевский астроном Невил Маскелайн (1732—1811) довёл точность измерений координат звёзд до десятых долей секунды дуги. Он выполнил 90 тыс. измерений. Маскелайн наблюдал прохождение Венеры по диску Солнца в 1761 г. В 1766 г. он основал английский морской астрономический ежегодник — *Nautical Almanac*, издающийся и поныне.

ОСНОВОПОЛОЖНИКИ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ

Алексис Клод Клеро (1713—1765) родился в Париже в семье математика. В 18 лет Клеро был избран в адъюнкты Французской академии.

Его перу принадлежит книга «Теория фигуры Земли» (1743 г.). Сейчас форма Земли называется «геоид» — сложная фигура, которую можно представить как сумму эллипсоидов

тянутую, но все же замкнутую эллиптическую орбиту для кометы с таким периодом (более поздняя оценка её периода — свыше 8 тыс. лет). После появления в 1682 г. новой кометы он рассчитал орбиты 24 комет, зарегистрированных в XVI—XVII вв. У трёх из них, наблюдавшихся в 1531, 1607 и 1682 гг., Галлей обнаружил сходство элементов орбит. На этом основании он сделал уверенный вывод о том, что это было возвращение одной и той же кометы с периодом 75—76 лет. Рассчитанное Галлеем возвращение кометы 1682 г. в конце 1758 г. стало первым триумфальным подтверждением теории тяготения Ньютона. Эту комету называли кометой Галлея.

В 1714 г. Галлей первым высказал идею, что болиды — результат встречи Земли со случайными сгустками космической материи (до того их считали воспламеняющимися земными испарениями). Эта идея впоследствии оказала большое влияние на немецкого физика Э. Ф. Ф. Хладни, ставшего родоначальником единой космической теории метеоритов и болидов (1794 г.) и новой науки метеоритики.

В 1718 г. Галлей сравнивал древние и новые измерения координат ряда звёзд для уточнения постоянной прецессии (за счёт неё долготы звёзд возрастают на малую величину, около 50" в год). Он заметил, что «три звезды... Глаз Тельца [Альдебаран], Сириус и Арктур прямо противоречили этому правилу», их смещения были существенно большими. Так он открыл собственное движение звёзд, окончательно подтверждённое для десятков звёзд Т. Майером и Н. Мэскелином в 1770-х гг.

Галлей первым привлёк внимание астрономов к совершенно загадочным тогда туманностям, занеся в свой южный каталог шесть таких объектов. В статье 1715 г. он утверждал, что это самосветящиеся космические объекты (а не уплотнения небесной твер-

ди, отражающие солнечный свет, как считали древние астрономы). Исходя из их значительных размеров и полной неподвижности, он заключил, что «они не могут не занимать огромных пространств, быть может, не менее чем вся наша Солнечная система», и что их во Вселенной, без сомнения, много больше.

К Галлею восходит формулировка известного в космологии фотометрического парадокса: если Вселенная, в соответствии с утверждением Ньютона, бесконечна и содержит бесконечное число звёзд, то ночное небо из-за слияния их лучей должно сиять подобно поверхности Солнца.

В экспедиции 1701—1703 гг. в Южное полушарие Галлей был капитаном фрегата. Как геофизик он провёл первые обширные исследования магнитного поля Земли. Результатом была составленная им первая «Генеральная карта вариаций компаса» (1703 г.). В 65-летнем возрасте Галлей начал и провёл до конца 18-летний цикл позиционных наблюдений Луны для уточнения метода определения долготы на море, что было важно для Англии — великой морской державы.

Галлей — основоположник гражданской статистики (ввёл в Англии таблицы страхования). Как филолог и знаток восточных языков он перевёл с арабского и издал труды Аполлония Пергского и Птолемея.

С 1703 г. Галлей возглавлял кафедру геометрии Оксфордского университета, с 1713 г. был учёным секретарём Лондонского королевского общества, в 1720 г. стал директором Гринвичской обсерватории (королевским астрономом), которую заново за свой счёт оборудовал инструментами. Он был также иностранным членом Парижской академии наук.

Скончался Эдмунд Галлей в Гринвиче 14 января 1742 г. Его именем помимо знаменитой кометы названы кратеры на Луне и на Марсе.



Алексис Клод Клеро.

с различными параметрами. Клеро занимался теорией движения Луны с учётом тяготения неоднородной Земли, Солнца и Юпитера. За эту работу он получил премию Петербургской академии наук в 1751 г.

Жан Лерон Д'Аламбер (1717—1783) с юных лет увлёкся математикой. Д'Аламбер «знал Бернулли только по его трудам», но считал, что «обязан ему почти полностью немногими успехами, которые я сделал в математике». В «Трактате о динамике» (1743 г.) Д'Аламбер сформулировал вариационный «принцип Д'Аламбера». В 1747 г. он представил во Французскую академию

преподавал в Артиллерийском училище и в 18 лет стал профессором. В 1759 г. Лагранжа избрали в члены Берлинской академии наук. В 1766 г. он стал её президентом. С 1772 г. он член Французской академии наук. В 1795 г. его назначили членом Бюро долгот, он участвовал в создании метрической системы мер. Научные работы Лагранжа посвящены механике, геометрии, математике и теоретической астрономии. Он вывел уравнения движения системы под действием сил — уравнения Лагранжа и применил их в задаче об устойчивости Солнечной системы. Лагранж нашёл случай устойчивого движения малых тел, находящихся в «треугольных» точках в «задаче трёх тел» системы Солнце — Юпитер. Эти тела — астероиды — были обнаружены в XX в.

ГИПОТЕЗА ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ

В 1720-х гг. Эммануэль Сведенборг (1688—1772), шведский философ и физик, предложил гипотезу, согласно которой все структуры в природе образуются по одним и тем же принципам. Атомы и звёзды образуются благодаря присущему материи вихревому движению. Атом — сложная система частиц, похожая на Солнечную систему. Сведенборг первым высказал мысль, что Млечный Путь — это плоская система звёзд. Он не признавал теорию тяготения Ньютона и считал, что планеты удерживаются на орбитах магнитными силами.

Иммануил Кант (1724—1804), немецкий философ, первым поставил задачу изучения эволюции Вселенной под действием сил тяготения Ньютона. Кант написал книгу о возможной эволюции Вселенной «Всеобщая естественная история и теория неба» (1755 г.). Вселенная, по

Жан Лерон Д'Аламбер.



наук свой труд о движении планет с учётом их взаимного притяжения — теорию возмущений и стал её адъюнктом. В 1754 г. Д'Аламбер стал членом Французской академии за количественный расчёт прецессии и нутации оси Земли. Он ввёл представление о времени как о четвёртой координате в задачах динамики (1764 г.), понятие о приливах в атмосфере, а также понятие «гуманитарные науки».

Жозеф Луи Лагранж (1735—1813) родился в Турине. Он учился, а затем

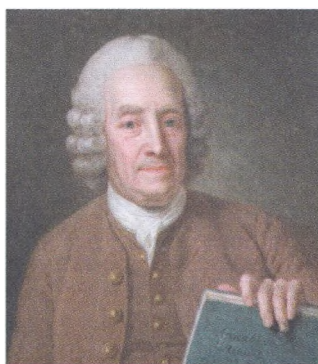


Жозеф Луи Лагранж.



Канту, бесконечна. Она имеет иерархическую структуру: планеты и кометы образуют Солнечную систему; Солнце и звёзды входят в Млечный Путь; другие звёздные миры и Млечный Путь образуют ещё более крупную систему. Млечный Путь — это диск, туманности типа туманности Андромеды — далёкие звёздные миры (галактики). Вначале Вселенная была заполнена почти однородной материей, в которой существовали вихри. В вихрях между частицами действовали силы притяжения и химические силы отталкивания. Один из таких вихрей был зародышем Солнечной системы. Вращающаяся туманность, постепенно сжимаясь, разделилась на центральную часть — будущее Солнце — и на кольца — будущие планеты. Молодое Солнце сжималось тяготением, в нём появился источник света. Кольца состоят из камней. Эволюция каждого кольца определяется взаимным тяготением камней, тяготением Солнца и действием солнечного излучения. После образования планет часть камней остаётся. Эти камни отражают солнечное излучение и создают явления зодиакального света. Кант допускал существование планет за орбитой Сатурна и протяжённого облака комет, которое окружает Солнечную систему.

Во второй половине XVIII в. в Германии работал математик, физик, астроном и философ Иоганн Генрих Ламберт (1728—1777). В книге «Фотометрия» (1760 г.) он описал свои открытия: яркость поверхности, идеально рассеивающей свет, не зависит от направления; атмосфера поглощает свет звёзд (закон Бугера — Ламберта — Бэра); оценил расстояние до Сириуса в восемь световых лет (современное значение 8,7 светового года); рассчитал орбиты некоторых комет. Ламберт написал книгу «Космологические письма об устройстве Мироздания» (1761 г.). Вселенная у него, как и у Канта, имеет ие-



▲
Иммануил Кант.

◀◀
Эмануэль
Сведенборг.

рархическое строение. Звёздные системы из-за удалённости видны как туманности. В Млечном Пути Ламберт выделил звёздные сгущения (прообраз звёздных скоплений). Он полагал, что Млечный Путь неустойчив и должен изменяться. Ламберт предсказал существование двойных и кратных звёзд. Он обратил внимание на то, что по возмущениям в движении небесного тела можно обнаружить другое массивное невидимое тело.

К началу XIX в. возродились представления античных философов об эволюционирующей Вселенной, и теперь уже существовал математический аппарат для описания этой эволюции — уравнения Лагранжа и закон тяготения Ньютона.

Иоганн Генрих
Ламберт.

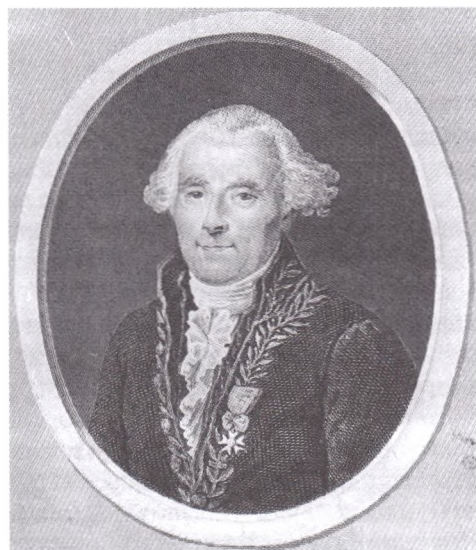




ПЬЕР СИМОН ЛАПЛАС

Пьер Симон Лаплас родился 23 марта 1749 г. в местечке Бомон-ан-Ож (на северо-западе Франции) в семье небогатого фермера. Вначале, учась в местном университете г. Кана, он собирался стать священником. Но уже тогда проявились его незаурядные способности в математике, и в 17 лет Лаплас оказался в Париже. В 20 лет он стал преподавателем в Парижской военной школе. С самого начала Лаплас буквально обрушил на Парижскую академию наук поток своих работ по математике и теоретической физике. К 24 годам он — адъюнкт, в 36 — лет действительный член Парижской академии наук, а затем и многих зарубежных академий, в том числе с 1802 г. Петербургской.

Поставив перед собой не только научные цели, но и задачу подняться до самых верхов парижского общества, Лаплас успешно делал свою



карьеру при любом строе. Республиканец в юности, он в годы Великой французской революции участвовал в реформе образования и создании Нормальной и Политехнической школ (в первой он был профессором математики, и ему сдавал экзамен юный Наполеон), в установлении во Франции единой десятичной системы мер и весов (1790—1793 гг.). В год кровавого террора (1793 г.), когда многие его друзья сложили головы под ножом гильотины, он, удалившись с семьей из Парижа, пишет свой знаменитый труд «Изложение системы мира». Возвратившись в 1794 г. в Париж, Лаплас возглавил (1795—1799 гг.) Палату мер и весов и стал одним из создателей (1795 г.), а позднее президентом астрономо-геодезического центра страны — Бюро долгот. В 1799 г. Лаплас получил от нового императора Наполеона пост министра внутренних дел, затем титул графа, пост сенатора, высшие ордена; стал богатым человеком. После Реставрации Бурбонов Лаплас стал пэром и получил титул маркиза (за политическое благоразумие).

►
Пьер Симон
Лаплас.

Астрономия.
Гравюра. XVIII в.





В астрономии XVIII век — это, прежде всего, эпоха формирования классической аналитической небесной механики. Новая наука переходила на язык дифференциальных и интегральных уравнений. Лучшие умы Франции, Германии, России приступили к построению теории возмущённого движения в системе из 18 известных тогда планет и спутников, уточняли фигуры небесных тел, начиная с Земли, развивали теорию прецессии, занимались практически важной теорией приливов... Решение этих задач в общем виде оказалось недостижимым. Небесная механика пошла по пути решения частных случаев и нахождения сначала приближённых решений.

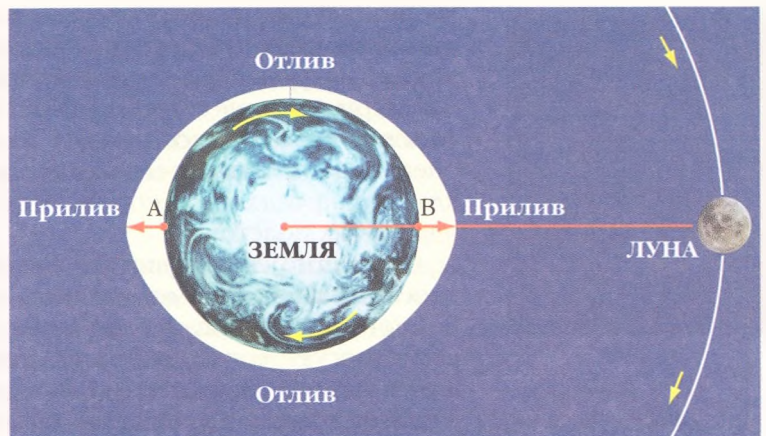
К началу деятельности Лапласа в астрономии остро стояли три главные проблемы: объяснение большого неравенства Юпитера и Сатурна (непрерывного ускорения первого и замедления второго), векового ускорения Луны и связанная с ними общая проблема устойчивости Солнечной системы. Орбиты с учётом этих особенностей становились незамкнутыми и либо раскручивались, либо закручивались вокруг центрального тела так, что со временем такие тела должны были или удалиться в космическое пространство, или же упасть на Солнце. В 1770-х гг. за решение этих фундаментальных проблем взялся 24-летний Лаплас. В работе 1773 г. «О принципе всемирного тяготения и о вековых неравенствах планет, которые от него зависят» он показал, что изменения орбитальной скорости Юпитера и Сатурна имеют не вековой, а периодический характер. Тогда же Лаплас пришёл к ещё более важному заключению: благодаря характерным особенностям устройства Солнечной системы взаимные возмущения планет в ней вообще не могут вызывать вековых изменений в их движениях. В 1784 г. Лаплас вернулся к этим

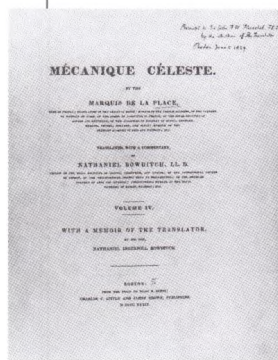
проблемам и в работе, представленной Академии наук 19 марта 1787 г., дал их полное решение. Он доказал, что большое неравенство Юпитера и Сатурна меняет знак с периодом 929,5 лет. В той же работе он показал, что и вековое ускорение Луны является долгопериодическим, меняющим знак и зависящим от эксцентриситета земной орбиты, который, в свою очередь, изменяется под воздействием тяготения других планет. Убедительным подтверждением лапласовой теории движения Луны стало то, что на её основе он впервые вычислил точную величину сжатия Земли у полюсов и величину астрономической единицы — расстояния от Земли до Солнца. Выводы Лапласа — к тому времени уже ши-

ГОРБЫ ПРИЛИВОВ В ОКЕАНЕ

В 1777 г. Лаплас выступил в Парижской академии с докладом о приливах и отливах в океанах. Их первую модель рассмотрел Ньютон, следуя гипотезе Кеплера о том, что приливы и отливы вызваны тяготением Солнца и Луны. Эту теорию совершенствовали Иоганн Бернулли, Леонард Эйлер и Жан Лерон Д'Аламбер. Ими разработана статическая теория приливов, по которой складываются два горба, направленные точно на Луну, и два — точно на Солнце. Такая схема годилась лишь для очень глубокого океана на невращающейся планете.

Лаплас создал динамическую теорию приливов, в которой рассмотрел движение воды океанов вдоль поверхности Земли.





Титульный лист
«Трактата
о небесной
механике»
Лапласа.

роко известного математика и небесного механика, академика — об устойчивости Солнечной системы произвели наиболее сильное впечатление на его современников. И хотя в дальнейшем выяснилось, что задача эта, как и само понятие устойчивости, намного сложнее, заслуга Лапласа не утратила своего значения. Он учёл главные факторы и доказал устойчивость Солнечной системы по крайней мере на астрономически длительный период времени.

В 1789 г. Лаплас создал первую полную теорию возмущённого движения спутников Юпитера. Это позволило составить намного более точные таблицы затмений спутников Юпитера, которые во времена Лапласа оставались основным способом определения долготы на море. Лапласу принадлежат также первая динамическая теория приливов, дальнейшая разработка теории фигур небесных тел, новый метод определения планетных и кометных орбит, работа о движении полюсов по поверхности Земли. Свои результаты Лаплас изложил в фундаментальном пятитомном труде «Трактат о небесной механике» (1798—1825 гг.), дав и название новой науке. Он же стал одним из главных создателей нового математического аппарата как для астрономии, так и для физики. В теории гравитационных взаимодействий он создал теорию потенциала, в которой для описания поля притяжения сфероида ввёл шаровые функции. Начатое Лапласом создание теории движения тела переменной массы на два века опережало проблемы его эпохи, закладывая фундамент теории... межпланетных полётов.

Совместно с выдающимся швейцарским математиком и механиком Я. Бернулли Лаплас построил первую строгую теорию вероятностей в сочинениях «Аналитическая теория вероятностей» (1812 г.) и «Опыт философии теории вероятностей»

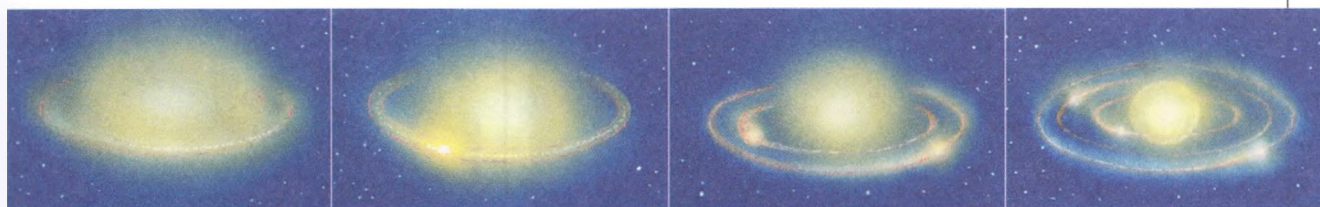
(1814 г.). Им была разработана математическая теория ошибок — прежде всего, дано обоснование широко применяемого и в наши дни метода наименьших квадратов.

Лаплас был одним из создателей новых аналитических методов приближённых вычислений — разложения функции в ряды и применения дифференциальных уравнений в частных производных. Первое позволило ему решить труднейшую проблему вековых ускорений планет и Луны. Полученное им дифференциальное уравнение в частных производных, носящее его имя, оказалось применимым в теории потенциала, в электростатике и гидродинамике, для описания явлений теплопроводности.

В физике Лаплас вывел формулу для определения скорости звука в воздухе (1809 г.); построил теорию явления капиллярности, которая в своё время получила широкое применение в технике; исследовал явление преломления света, в том числе двойного, в кристаллах. В геофизике — нашёл барометрическую формулу (зависимости плотности атмосферы от высоты над земной поверхностью).

Откликаясь на новые идеи, Лаплас стал активным сторонником новой теории Лавуазье о горении, а в дальнейшем (1802 г.) сыграл существенную роль в защите новой теории Э. Ф. Ф. Хладни (1794 г.) о космической природе метеоритов. Расчёты Лапласа условий отрыва тела от своей планеты (преодоления её тяготения) привели его к идее, по сути, чёрной дыры (1796 г.).

Наконец, особое место не только в истории астрономии, но и всего естествознания занимает знаменитая небулярная космогоническая (планетная) гипотеза Лапласа. Утверждение эволюционного мировоззрения в астрономии, начавшееся с планетной космогонии Канта (1755 г.), было развито на наблюдательной ос-



Образование
Солнечной
системы
по П. С. Лапласу.

нове для звёзд У. Гершелем (1791 г.) и получило своё завершение для XVIII в. — Века Просвещения в планетной гипотезе Лапласа. Удивительная упорядоченность Солнечной системы — движение тел почти в одной плоскости, в одну сторону — как самих планет, так и спутников, как в осевом, так и в орбитальном движении — наводила на мысль о неслучайности такого сочетания свойств. Гипотеза о происхождении Солнечной системы завершала самое знаменитое произведение Лапласа — «Изложение системы мира» (1796 г.). Литературные достоинства этой книги послужили причиной его избрания в 1816 г. во Французскую ли-

тературную академию. «Изложение системы мира» пережило пять прижизненных изданий (1796—1826 гг.); шестое, посмертное, дважды переведено на русский язык (1861, 1982 гг.). Космогоническая гипотеза Лапласа господствовала целое столетие. И хотя с развитием науки она была оставлена, новый синтез основных космогонических идей первых эволюционистов Канта и Лапласа, дополненных новыми физическими идеями, дал стимул современному этапу развития планетной космогонии.

Лаплас умер 5 марта 1827 г. Его последними словами были: «То, что мы знаем, — немного; то, чего же не знаем, — огромно».

УИЛЬЯМ ГЕРШЕЛЬ

Перед нами лежит обширное поле для открытий,
и наблюдение одно только даёт ключ к ним.

Иммануил Кант

Гершель был пионером во всём, что он делал. Как конструктор первых больших телескопов-рефлекторов и неутомимый наблюдатель он оставил далеко позади своих современников. Большое воздействие на развитие астрономии он оказал как глубокий мыслитель. Гершель вдвое «расширил» Солнечную систему, открыв впервые за всю историю астрономии новую большую планету Уран (13 марта 1781 г.) и «сдвинул с места» Солнце, открыв его движение в мировом пространстве. Он впервые установил общую форму и де-

лал первые оценки размеров нашего грандиозного «звёздного дома» — Галактики. Гершель же первым вышел со своими телескопами в безграничный мир туманностей — далёких звёздных вселенных.

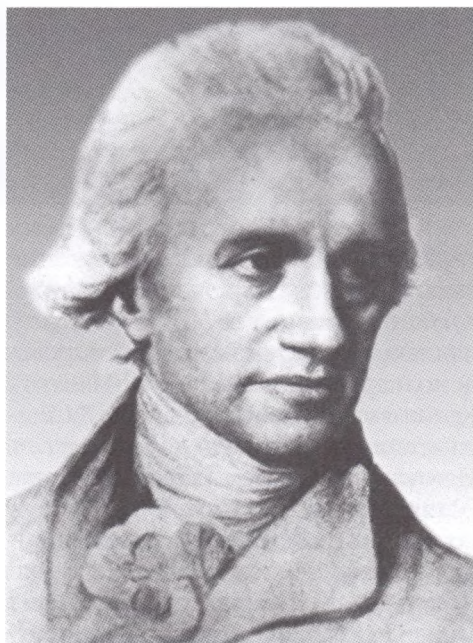
Фридрих Вильгельм (Уильям) Гершель родился 15 ноября 1738 г. в Ганновере (Германия) в семье полкового музыканта Ганноверской гвардии. С 15 лет он стал играть на гобое в том же оркестре, а в дальнейшем играл на скрипке и органе. В 19 лет,



Зеркальный
телескоп. XVIII в.



►
Уильям Гершель.



►►
Дом У. Гершеля
в Бате. Здесь
была открыта
планета Уран.



►
Туманность
в созвездии
Орион.

спасаясь от рекрутчины, он бежал в Англию (Ганновер подчинился тогда английскому королю), навсегда расставшись с родиной. После многих невзгод и лишений Гершель приобрёл известность как музыкант-исполнитель, композитор и преподаватель музыки в курортном городе Бате недалеко от Бристоля. Самообразование по учебнику Роберта Смита привело его в математику и оптику, через которую он познакомился с астрономией.

В 1773 г. Гершель приобрёл небольшой отражательный телескоп (рефлектор) с фокусным расстоянием (и длиной трубы) 2,5 фута (около 76 см). На больший не было средств, и он приступил к изготовлению телескопов самостоятельно. Уже в марте 1774 г. Гершель наблюдал большую светлую туманность в созвездии Ориона с помощью своего первого самодельного рефлектора с длиной трубы 5,5 футов и диаметром главного зеркала 20 см. Изготавливать телескопы ему помогал младший брат Александр, талантливый механик, вызванный им из Германии. Неоце-

нимую роль в жизни и научных исследованиях В. Гершеля сыграла его младшая сестра Каролина. Уже в Бате Гершель изготовил сотни зеркал для 7-, 10- и 20-футовых рефлекторов. Основным его рабочим инструментом стал 20-футовый рефлектор (около 7 м) с диаметром зеркала почти в полметра. Вершиной развития





телескопостроения вплоть до середины XIX в. был созданный Гершелем в 1787—1789 гг. гигантский 40-футовый рефлектор (длина трубы 12 м) с рабочим диаметром зеркала 122 см. Но получаемое им увеличение (в 2,5 тыс. раз) применялось лишь в особых целях — для наблюдений двойных звёзд. Свои знаменитые обзоры неба Гершель проводил обычно с увеличением 150—300. Наблюдения требовали немалой выносливости и смелости, так как велись с площадки на высоте нескольких метров над землёй.

Начиная с 1775 г. он провёл четыре систематических обзора звёздного неба, каждый занимал несколько лет. Открытие Урана сразу принесло ему мировую известность и положило конец его карьере музыканта. Золотая медаль Лондонского королевского общества, избрание в члены этого Общества, почётная степень доктора Оксфордского университета, должность придворного астронома с пожизненной пенсией в 300 гиней были наградой Гершелю в Англии. Он стал астрономом-профессионалом, в 1782 г. переехал в Старый Виндзор, а с 1786 г. поселился в пригороде Лондона Слау, который Франсуа Араго назвал местом на Земле, где было сделано наибольшее число астрономических открытий.

В Солнечной системе Гершель открыл два спутника Урана (1787 г.), обнаружив у них обратное движение (1797 г.), два новых спутника Сатурна (1789 г.); измерил период вращения Сатурна и его кольца (1790 г.); открыл сезонные изменения размеров полярных шапок на Марсе.

Но главной своей задачей он считал изучение строения звёздной Вселенной. Уже в 1783 г. по характеру собственных движений 13 звёзд в окрестностях Солнца Гершель обнаружил его движение в пространстве и указал довольно точно его направление (апекс) к звезде λ Геркулеса.



Положение Урана среди звёзд на момент его открытия 13 марта 1781 г.

Ещё более важным оказалось открытие им двойных и кратных звёзд. Начав в 1778 г. с массовой переписи всех видимых на небе тесных звёздных пар (в тщетной погоне за их параллаксами), Гершель за четверть века обнаружил у 50 из них орбитальное движение и 9 июня 1803 г. сообщил в Лондонском королевском обществе об открытии двойных звёзд как физических систем. Всего Гершель открыл свыше 800 двойных и кратных звёзд. Каталог 145 двойных звёзд с детальным исследованием их орбит стал его последней работой (1822 г.). Он измерил блеск около 3 тыс. звёзд с точностью до 0,1 звёздной величины (введя свою весьма точную шкалу

Апекс Солнца.





звёздных величин), открыл несколько новых переменных и составил шесть фотометрических каталогов звёзд.

В 1800 г. Гершель, применив к изучению солнечного света термометр, открыл инфракрасное излучение. В спектрах звёзд он первым отметил различие в положении максимума их яркости, выделив синие, жёлтые и красные звёзды. В 1804 г. Гершель первым обратил внимание на связь между событиями на Земле (ценами на пшеницу, определявшимися её урожайностью) и числом пятен на Солнце (т. е. его физическим состоянием). Это курьёзное по тем временам сообщение было опубликовано в 1808 г. в «Берлинском астрономическом ежегоднике» Иоганна Боде.

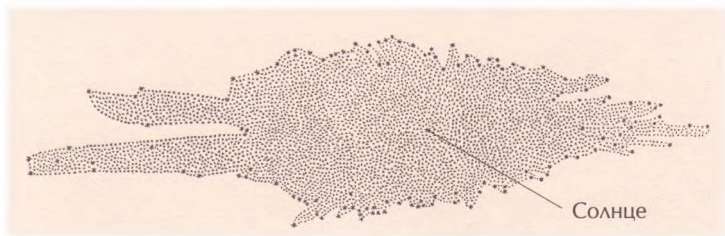
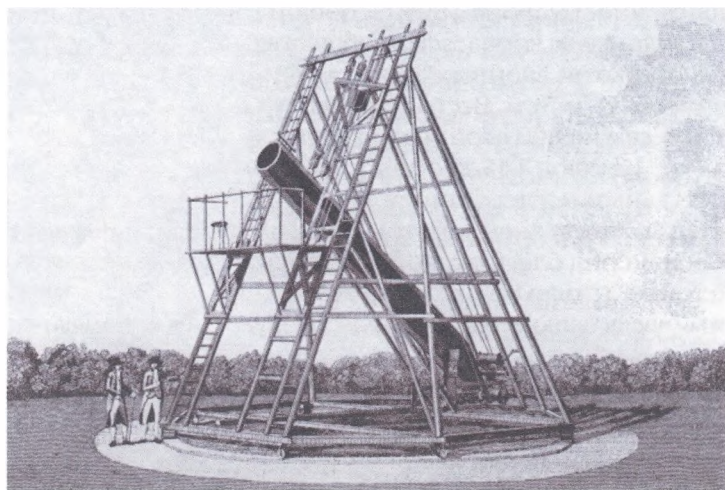
Схема звёздной системы
Млечный
Путь. Рисунок
У. Гершеля.



20-футовый
телескоп
У. Гершеля.



Но особенно большой вклад Гершель внёс в понимание устройства звёздной Вселенной и первым нащупал существенные черты нового



мира — мира туманностей. Знаменитый «ловец комет» Шарль Мессье в 1781—1783 гг. опубликовал каталог более сотни таких объектов с чисто вспомогательной целью — чтобы наблюдатели не принимали их за новые кометы. Каково же было удивление Гершеля, когда в его телескопы многие из туманностей Мессье распались на группы звёзд, как бы подтверждая теорию островных вселенных английского астронома Томаса Райта (1711—1786).

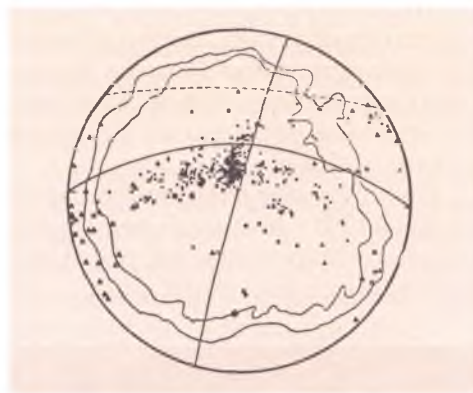
Для изучения мира звёзд он создал статистический метод проб — «черпков». При этом Гершель сознательно принял допущение о равномерном распределении звёзд в пространстве и равенстве их светимости. Подсчитывая число звёзд в поле зрения телескопа в разных частях неба, он по их обилию судил, насколько далеко простирается наша звёздная Вселенная в данном направлении. Сделав более тысячи таких «черпков», Гершель к 1785 г. установил изолированность нашей звёздной Вселенной (Галактики) в пространстве, впервые представшей в виде звёздного «острова» — уплощённой системы, наиболее удалённые части которой мы видим как полосу Млечного Пути. Он правильно оценил сжатие системы в 1/5. Даже при весьма ограниченных возможностях и грубых допущениях Гершеля размеры Галактики предстали чудовищно огромными: поперечник — 850, толщина — 200 в единицах расстояния до Сириуса, равного восьми световым годам (6800 × 1600 световых лет) — и произвели глубочайшее впечатление на его современников. Считая сначала все млечные туманности далёкими звёздными вселенными — другими «млечными путями», Гершель предложил писать название нашего звёздного острова с прописной буквы — Млечный Путь (Галактика).

За год до этого Гершель сделал ещё более важное открытие в ми-



ре туманностей, значение которого поняли лишь спустя почти два столетия. Уже в 1784 г. во время первого обзора туманностей из каталога Мессье он открыл свыше 400 новых, в основном намного более слабых, «неразложимых» на звёзды даже в его мощный телескоп. На небе они располагались крайне неравномерно — кучами, а эти кучи и отдельные туманности объединялись в протяжённые полосы — пласты. Гершель выделил два пласта туманностей и наиболее населённый из них назвал пластом Волос Вероники, указав на его продолжение в созвездиях Дева, Большая Медведица, Лев и отметив его общее расположение перпендикулярно Млечному Пути. Он допустил даже, что этот пласт, подобно нашему Млечному Пути, может охватывать кольцом по большому кругу всё небо, продолжаясь в южной полусфере. С гениальной проницательностью он увидел в стремлении туманностей сгущаться и образовывать пласты характерные общие структурные черты всей наблюдаемой Вселенной. Гершель сравнивал эти пласты из туманностей, включая в них и явные звёздные скопления, с геологическими пластами Земли, в которых как бы записана её история, и также допускал их различный состав и возраст. Оценив фотометрически расстояния до наиболее далёких млечных туманностей в миллионы световых лет, он впервые сделал сенсационный вывод, что они должны были существовать столько же лет назад, позволяя наблюдателю как бы путешествовать во времени.

Только в 1953 г. французский астроном Жерар де Вокулёр окончательно установил (не зная о пионерских работах Гершеля), что характерный перпендикулярный Млечному Пути пласт, состоящий, как тогда уже было известно, из других галактик, представляет собой экваториальную часть огромной сверхсистемы



Выделение на небе пласта Волос Вероники как фрагмента кольца млечных путей.

из десятков тысяч галактик, одной из которых является наша. Таким образом, У. Гершеля можно назвать первооткрывателем крупномасштабной структуры нашей Вселенной (Метагалактики).

Открытия Гершеля в мире туманностей поистине неисчерпаемы. Три его каталога новых туманностей (1786, 1789 и 1802 гг.) содержали две с половиной тысячи этих объектов, большинство из которых оказались далёкими галактиками. Гершель открыл и описал множество форм туманностей, в том числе отметил кометообразные туманности, рассматривающиеся в наши дни как важный этап рождения звёзд. Он впервые обратил внимание на существование двойных и кратных туманностей и представил их как реальные физические системы. Это подтвердилось для половины из открытых им 200 таких систем, а 19 отнесены сейчас к так называемым взаимодействующим галактикам (независимо вновь открытым в XX в. Фрицем Цвикки и подробно исследованным Борисом Александровичем Воронцовым-Вельяминовым).

Гершель первым высказал важную идею о том, что в местах случайной повышенной пространственной плотности звёзд должна возникать «скапливающая сила», которая делает дальнейший процесс гравитацион-



ного сжатия необратимым (эти идеи много позже развил Джеймс Джинс). На этом основании Гершель развил свою концепцию общей эволюции космической материи под действием сил гравитации.

Удивительное открытие Гершель сделал в 1791 г. К тому времени среди огромного разнообразия туманностей он выделил особый класс — ту-



Планетарная туманность.

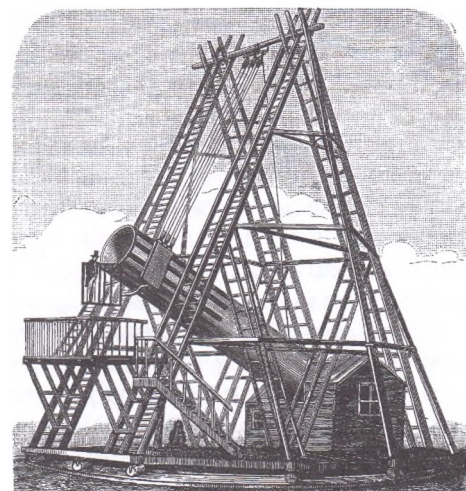
► 40-футовый телескоп У. Гершеля.

манности в виде маленьких дисков с совершенно равномерным распределением в них слабого зеленоватого свечения. По внешнему виду они напоминали Уран и были названы им планетарными. Сначала Гершель считал их также звёздными системами, причём самыми далёкими. Но когда в 1791 г. он обнаружил подобный объект в Персее (известная ныне планетарная туманность NGC 1514), где в центре бледного диска находилась яркая точка, то сделал правильный вывод: материя вокруг яркого центра — вероятно, обычной звезды — имеет не звёздную, а диффузную природу. Из этого он заключил, что сам объект — не что иное, как наблюдаемый нами процесс формирования новой звезды под действием гравитации! (На самом деле, как сегодня известно, эти туманности расширяются, представляя переломный этап в эволюции звезды.) Теперь Гершель стал разделять неразложимые млечные туманности

на «истинные» и «ложные» (далёкие звёздные системы).

Разгадка структуры планетарных туманностей, однако, надолго увела Гершеля от правильного истолкования млечных туманностей вообще, особенно с яркими ядрами. Он стал описывать их как формирующиеся звёзды, а в разнообразии форм усматривал различные стадии этого процесса. Несмотря на ошибочность объяснения природы конкретных объектов, сама идея сыграла огромную роль в укреплении эволюционных представлений о космосе. В астрономии идея развития природы, впервые прозвучавшая в работах Иммануила Канта, благодаря Гершелю утвердилась даже раньше, чем в биологии, где её родоначальником стал Жан Батист Ламарк (1809 г.). Лаплас от издания к изданию корректировал свою космогоническую гипотезу в соответствии с этими открытиями Гершеля.

В последние годы жизни Гершель, наблюдая в 40-футовый телескоп, убедился в недостижимости границ Галактики. Убедился он и в том, что не все млечные туманности — сгустки диффузной материи и что среди тех, что обнаруживаются даже в 40-футовый телескоп на пределе видимости, могут быть другие далёкие звёздные системы.





* * *

Гершель вёл наблюдения каждую ясную ночь в течение более чем 30 лет и лишь в 1807 г., после тяжёлой болезни, стал отходить от них. Он скончался 23 (по другим источникам — 25) августа 1822 г. «Сломал засовы Небес», — написано на его надгробии.

Каролина Лукреция Гершель (1750—1848) также прославилась как астроном. Она обработала и

после смерти брата издала каталог 2500 туманностей и звёздных скоплений Гершеля. В подаренный им небольшой телескоп она открыла 8 комет и 14 туманностей.

Знаменитым астрономом был и его сын Джон Фредерик Уильям Гершель (1792—1871), продолживший наблюдения, начатые отцом. Он также являлся почётным членом Петербургской академии наук.

ДЕВЯТНАДЦАТЫЙ ВЕК И АСТРОФИЗИКА

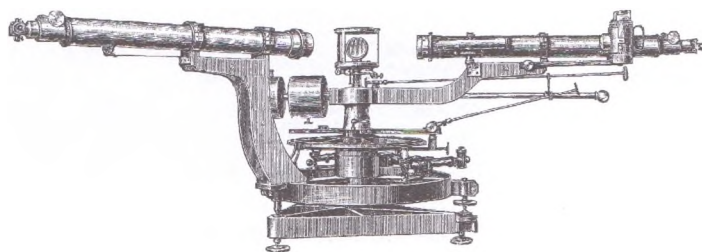
XIX век — это век становления и быстрого развития ещё одной важной области астрономии — астрофизики. К тому времени в сферу внимания учёных попали принципы устройства и эволюции небесных тел, физика процессов, происходящих в космическом пространстве. От физики новая наука взяла методы изучения, а от астрономии — необъятное поле исследований, о котором физики могли только мечтать.

Термин «астрофизика» появился в середине 1860-х гг. Крёстным отцом астрофизики был немецкий астроном Иоганн Карл Фридрих Цёлльнер (1834—1882), профессор Лейпцигского университета.

В отличие от небесной механики, год рождения которой точно известен (1687-й), назвать дату «появления на свет» астрофизики не так легко. Она зарождалась постепенно, в течение первой половины XIX в.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ — СТЕРЖЕНЬ АСТРОФИЗИКИ

В 1802 г. английский физик Уильям Хайд Волластон (1766—1828), открывший годом ранее ультрафиолетовые лучи, построил спектроскоп, в котором впереди стеклянной приз-



мы параллельно её ребру располагалась узкая щель. Наведя прибор на Солнце, он заметил, что солнечный спектр пересекают узкие тёмные линии.

Волластон тогда не понял смысла своего открытия и не придал ему особого значения. Через 12 лет, в 1814 г., немецкий физик Йозеф Фраунгофер (1787—1826) вновь обнаружил в солнечном спектре тёмные линии, но в отличие от Волластона сумел правильно объяснить их поглощением лучей газами атмосферы Солнца. Используя явление дифракции света, он измерил длины волн наблюдаемых линий, которые получили с тех пор название фраунгоферовых.

В 1833 г. шотландский физик Дэвид Брюстер (1781—1868), известный своими исследованиями поляризации света, обратил внимание на группу полос в солнечном спектре, интенсивность которых увели-

Призмный спектроскоп. XIX в.



Йозеф
Фраунгофер
показывает
кружку учёных
тёмные линии
в спектре Солнца.

чивалась по мере того, как Солнце опускалось к горизонту. Прошло почти 30 лет, прежде чем в 1862 г. выдающийся французский астрофизик Пьер Жюль Сезар Жансен (1824—1907) дал им правильное объяснение: эти полосы, получившие название *теллурических* (от лат. *telluris* — «земля»), вызваны поглощением солнечных лучей газами земной атмосферы.

К середине XIX в. физики уже довольно хорошо изучили спектры светящихся газов. Так, было установлено, что свечение паров натрия порождает яркую жёлтую линию. Однако на том же месте в спектре Солнца наблюдалась тёмная линия. Что бы это значило?

Решить этот вопрос в 1859 г. взялись выдающийся немецкий физик Густав Кирхгоф (1824—1887) и его коллега, известный химик Роберт Бунзен (1811—1899). Сравнивая длины волн фраунгоферовых линий в спектре Солнца и линий излучения паров различных веществ, Кирхгоф и Бунзен обнаружили на Солнце натрий, железо, магний, кальций, хром и другие металлы. Каждый раз светящимся лабораторным линиям земных газов соответствовали тёмные линии в спектре Солнца. В 1862 г. шведский

физик и астроном Андрес Йонас Ангстрем (1814—1874), ещё один из основоположников спектроскопии (кстати, его именем названа единица длины, ангстрем: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$), обнаружил в солнечном спектре линии самого распространённого в природе элемента — водорода. В 1869 г. он же, измерив с большой точностью длины волн нескольких тысяч линий, составил первый подробный атлас спектра Солнца.

18 августа 1868 г. Пьер Жансен, наблюдая полное солнечное затмение, заметил яркую жёлтую линию в спектре Солнца вблизи двойной линии натрия. Её приписали неизвестному на Земле химическому элементу, названному гелием (от греч. *hēlios* — Солнце). Действительно, на Земле гелий был впервые найден в газах, выделявшихся при нагревании минерала клевеита, только в 1895 г., так что он вполне оправдал своё «внеземное» название.

Успехи спектроскопии Солнца стимулировали учёных применять спектральный анализ к изучению звёзд. Выдающаяся роль в развитии звёздной спектроскопии по праву принадлежит итальянскому астрофизику Анджело Секки (1818—1878). В 1863—1868 гг. он изучил спектры 4 тыс. звёзд и построил первую классификацию звёздных спектров, разделив их на четыре класса. Его классификация была принята всеми астрономами и применялась до введения в начале XX в. Гарвардской классификации. Одновременно с Уильямом Хёггинсом Секки выполнил первые спектральные наблюдения планет, причём он обнаружил в красной части спектра Юпитера широкую тёмную полосу, принадлежавшую, как выяснилось впоследствии, метану.

Немалый вклад в развитие астроспектроскопии внёс соотечественник Секки Джованни Донати (1826—1873), имя которого обычно



связывают с открытой им в 1858 г. и названной в его честь яркой и очень красивой кометой. Донати первым получил её спектр и отождествил наблюдаемые в нём полосы и линии. Он изучал спектры Солнца, звёзд, солнечных хромосферы и короны, а также полярных сияний.

Уильям Хёггинс (1824—1910) установил сходство спектров многих звёзд со спектром Солнца. Он показал, что свет испускается его раскалённой поверхностью, поглощаясь после этого газами солнечной атмосферы. Стало ясно, почему линии элементов в спектре Солнца и звёзд, как правило, тёмные, а не яркие. Хёггинс впервые получил и исследовал спектры газовых туманностей, состоящие из отдельных линий излучения. Это и доказало, что они газовые.

Хёггинс впервые изучил спектр новой звезды, а именно новой Северной Короны, вспыхнувшей в 1866 г., и обнаружил существование вокруг звезды расширяющейся газовой оболочки. Одним из первых он использовал для определения скоростей звёзд по лучу зрения принцип Доплера — Физо (его часто называют эффектом Доплера).

Незадолго до этого, в 1842 г., австрийский физик Кристиан Доплер (1803—1853) теоретически доказал, что частота звуковых и световых колебаний, воспринимаемых наблюдателем, зависит от скорости приближения или удаления их источника. Высота тона гудка локомотива, например, резко меняется (в сторону понижения), когда приближающийся поезд проезжает мимо нас и начинает удаляться.

Выдающийся французский физик Арман Ипполит Луи Физо (1819—1896) в 1848 г. проверил это явление для лучей света в лаборатории. Он же предложил использовать его для определения скоростей звёзд по лучу зрения, так называемых лучевых



Комета Донати над Парижем.

скоростей, — по смещению спектральных линий к фиолетовому концу спектра (в случае приближения источника) или к красному (в случае его удаления). В 1868 г. Хёггинс таким способом измерил лучевую скорость Сириуса. Оказалось, что он приближается к Земле со скоростью примерно 8 км/с.

Последовательное применение принципа Доплера — Физо в астрономии привело к ряду замечательных открытий. В 1889 г. директор Гарвардской обсерватории (США) Эдуард Чарлз Пикеринг (1846—1919) обнаружил раздвоение линий в спектре Мицара — всем известной звезды 2-й звёздной величины в хвосте Большой Медведицы. Линии с определённым периодом то сдвигались, то раздвигались. Пикеринг понял, что это скорее всего тесная двойная система: её звёзды настолько близки друг к другу, что их нельзя различить ни в один телескоп. Однако спектральный анализ позволяет это сделать. Поскольку скорости обеих



Эдуард Чарлз
Пикеринг.

звёзд пары направлены в разные стороны, их можно определить, используя принцип Доплера — Физо (а также, конечно, и период обращения звёзд в системе).

В 1900 г. пулковский астроном Аристарх Аполлонович Белопольский (1854—1934) использовал этот принцип для определения скоростей и периодов вращения планет. Если поставить щель спектрографа вдоль экватора планеты, спектральные линии получат наклон (один край планеты к нам приближается, а другой — удаляется). Приложив этот метод к кольцам Сатурна, Белопольский доказал, что участки кольца обращаются вокруг планеты по законам Кеплера, а значит, состоят из множества отдельных, не связанных между собой мелких частиц, как это предполагали, исходя из теоретических соображений, Джеймс Клерк Максвелл (1831—1879) и Софья Васильевна Ковалевская (1850—1891).

Одновременно с Белопольским такой же результат получили американский астроном Джеймс Эдуард Килер (1857—1900) и французский астроном Анри Деландр (1853—1948).

Примерно за год до этих исследований Белопольский обнаружил периодическое изменение лучевых скоростей у цефеид. Тогда же московский физик Николай Алексеевич Умов (1846—1915) высказал опередившую своё время мысль, что в данном случае учёные имеют дело не с двойной системой, как тогда полагали, а с пульсацией звезды.

Между тем астроспектроскопия делала всё новые и новые успехи. В 1890 г. Гарвардская астрономическая обсерватория выпустила большой каталог звёздных спектров, содержащий 10 350 звёзд до 8-й звёздной величины и до 25° южного склонения. Он был посвящён памяти Генри Дрэпера (1837—1882), американского любителя астрономии (по специальности врача), пионера широкого применения фотографии в астрономии. В 1872 г. Дрэпер получил первую фотографию спектра звезды (спектрограмму), а в дальнейшем — спектры ярких звёзд, Луны, планет, комет и туманностей. После выхода первого тома каталога к нему не раз издавались дополнения. Общее число изученных спектров звёзд достигло 350 тыс.

ФОТОГРАФИЯ В АСТРОНОМИИ

Применение фотографии в астрономии имело громадное значение благодаря её многочисленным преимуществам перед визуальными наблюдениями.

В 1839 г. французский изобретатель Луи Жак Манде Дагер (1787—1851) придумал способ получения скрытого изображения на металлической пластинке из йодистого серебра, которое он проявлял затем парами ртути. Появились первые портреты людей (дагеротипы). Директор Парижской обсерватории Доминик Франсуа Араго (1786—1853)

Аристарх
Аполлонович
Белопольский.





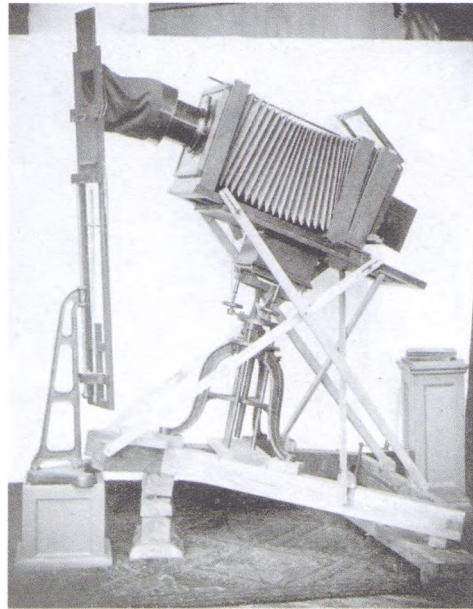
в своём докладе Французской академии наук 19 августа 1839 г. указал на обширные перспективы применения фотографии в науке, в частности в астрономии. Уже в 1840 г. были получены первые дагеротипы Солнца и Луны, затем звёзд, солнечной короны, спектра Солнца.

Большим недостатком дагеротипов была невозможность их тиражирования. Дагеротип получался в одном экземпляре, и, если нужен был другой, приходилось снимать вторично. В 1851 г. англичанин Ф. Скотт-Арчер придумал мокрый коллоидный способ, когда пластинки незадолго до употребления заливались слоем коллоида, содержащим йодистое серебро. Последнее и служило светочувствительным материалом.

Первые же эксперименты по фотографированию небесных тел этим способом показали значительное преимущество мокрого коллоидного способа перед дагеротипным. Время экспозиции сократилось более чем в 100 раз, изображения содержали многочисленные детали.

Самых больших успехов в применении мокрого коллоидного способа достиг английский астроном-любитель Варрен Деларю (1815—1889). Будучи владельцем бумажной фабрики, он на свои средства построил обсерваторию близ Лондона и хороший телескоп, с которым и проводил фотографирование. По его предложению Британская астрономическая ассоциация построила в Кью специальную обсерваторию и прибор для фотографирования Солнца — фотогелиограф.

В 1850 г. Уильям и Джордж Бонды, отец и сын, впервые сделали фотографию звезды (Веги). В 1872 г. Генри Дрэпер получил её первую спектрограмму, на которой были видны линии поглощения. Фотография всё больше проникала в практику астрономических исследований. В 1891 г.

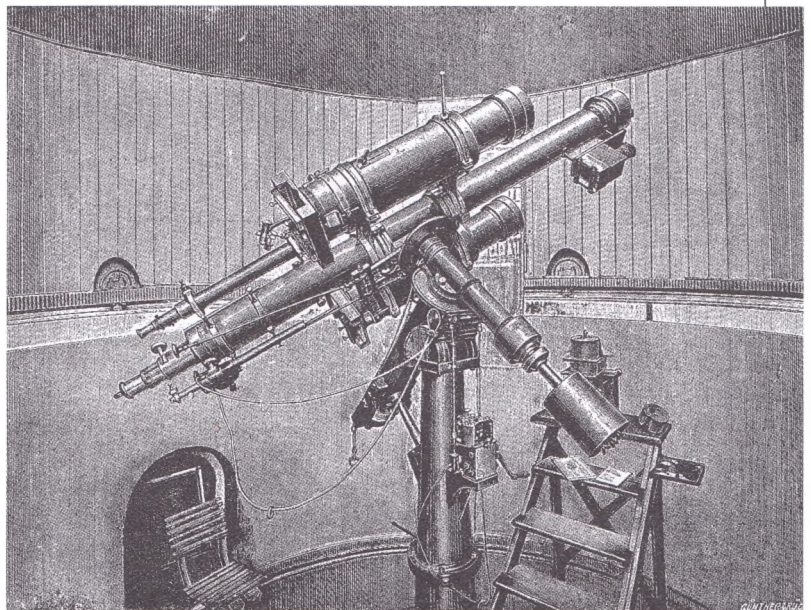


Фотокамера русского мастера фотоискусства А. О. Карелина, которой он снимал полное солнечное затмение 1887 г.

с её помощью была открыта первая малая планета — 323 Бруция. Постепенно совершенствовалась техника фотографирования, улучшались фотоматериалы. Для фотографирования стали доступны жёлтая, красная и инфракрасная области спектра.

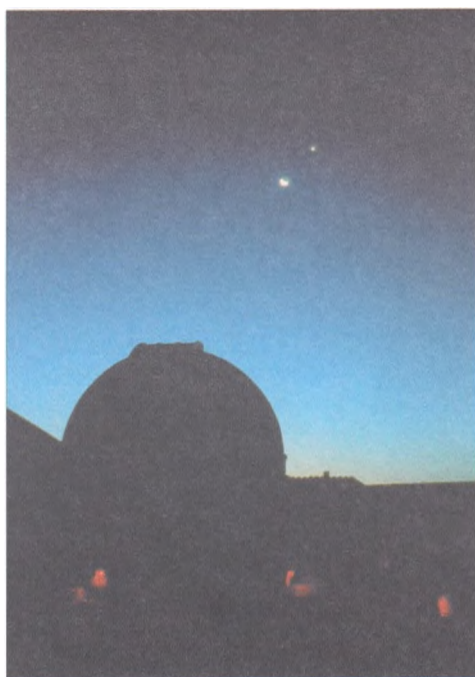
Ещё в древности астрономы подразделяли звёзды по блеску на

Телескоп-рефрактор с тремя фотокамерами. XIX в.





Луна и Венера
на вечернем
небе.



шесть классов — звёздных величин. Эта величина не имеет никакого отношения к размерам звезды, она

характеризует только количество света. В 1857 г. английский астроном Норман Роберт Погсон (1829—1891) предложил употребляемую и поныне шкалу звёздных величин, в которой разности в одну звёздную величину соответствует отношение блеска, составляющее 2,512 раза. Число это выбрано для удобства, потому что $2,512^5 = 100$. Разности в пять звёздных величин соответствует отношение блеска ровно в 100 раз, а для разности, например, в 15 величин оно равно 1 млн. Начались точные определения блеска звёзд. Для этого применялись специальные приборы — фотометры. Благодаря этим методам стали возможными точные наблюдения изменений блеска переменных звёзд.

Наблюдательная астрофизика бурно развивалась и в XX в. Но теперь её впервые начала опережать астрофизика теоретическая, охватившая единым взором всю Вселенную.

ВАСИЛИЙ ЯКОВЛЕВИЧ СТРУВЕ

►
Василий
Яковлевич
Струве.

Даже если бы этот немецкий филолог не сделал никаких открытий в астрономии, он навсегда вошёл бы в её историю как основатель Пулковской обсерватории — «астрономической столицы мира» XIX столетия. Фридрих Георг Вильгельм Струве (таково его настоящее имя), однако, не только сделал множество замечательных открытий, но явился, по сути, основателем российской астрономической школы. Его ученики заняли профессорские кафедры во всех ведущих университетах России. Струве стал и родоначальником династии учёных: три поколения его потомков почти полтора столетия успешно работали в российской и мировой астрономии.





Струве родился 15 апреля 1793 г. в Альтоне, тогда приграничном датском городке (ныне пригород Гамбурга). Он был пятым ребёнком в большой дружной семье директора гимназии, который сам руководил домашним обучением Вильгельма.

В 1808 г., спасая от вербовки в наполеоновскую армию, 15-летнего Вильгельма родители отправили в Россию — в Дерптский университет (ныне Тартуский университет, Эстония). Вильгельм поступил на его филологическое отделение, которое закончил досрочно с золотой медалью. Но очень скоро его научные интересы переместились в сторону астрономии.

В 20 лет Струве, астроному-наблюдателю Дерптской университетской обсерватории, присвоили учёную степень магистра. Тогда же он стал профессором университета, организовал на обсерватории научную работу и начал публиковать её труды — «Летописи». В 1818 г. Струве был назначен директором обсерватории и возглавил вновь созданную кафедру астрономии.

С 1819 г. Струве вёл наблюдения двойных и кратных звёзд, открытых Гершелем. У этих звёзд в 1802 г. Гершель обнаружил обращение компонентов. В 1822 г. Струве опубликовал первый каталог двойных звёзд, который содержал сведения о 795 системах. Он был удостоен золотой медали Лондонского королевского астрономического общества. В декабре 1826 г. Струве избрали почётным членом Петербургской академии наук, а в 1832 — её действительным членом. В 1834 г. он получил права русского дворянина и звание действительного статского советника.

В 1825—1827 гг. Струве с помощью рефрактора Дерптской обсерватории с объективом диаметром 244 мм провёл наблюдения 120 тыс. звёзд ярче 9-й звёздной величины.

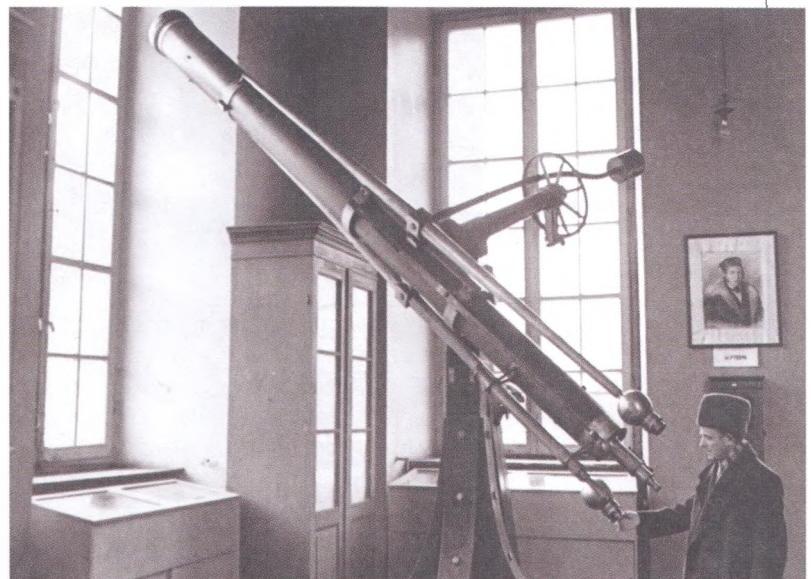


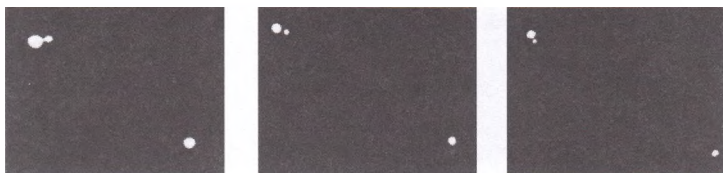
Дерптская обсерватория.

На каждую звезду Струве в среднем тратил 12 с. В 1827 г. Струве был избран членом Лондонского королевского общества.

В описании каталога 1852 г. Струве вводит новый критерий физической двойственности звёзд. Двойные звёзды, у которых обе компоненты

Экваториал Дерптской обсерватории.





На трёх фотографиях двойной звезды Крюгер-60 (слева), сделанных с промежутками в несколько лет, заметно перемещение одного компонента относительно другого.

имеют близкие по величине и направлению собственные движения, можно считать физически двойными, даже если их период обращения слишком велик, чтобы его удалось заметить.

Десятилетиями Струве регулярно определял координаты избранных звёзд, чтобы по их изменению в течение года найти звёздные параллаксы. Оказалось, что у всех исследованных 19 звёзд абсолютный параллакс менее $1''$, причём у значительного числа этих звёзд он существенно меньше $0,5''$.

Альтаир (α Орла)
на звёздной
карте.

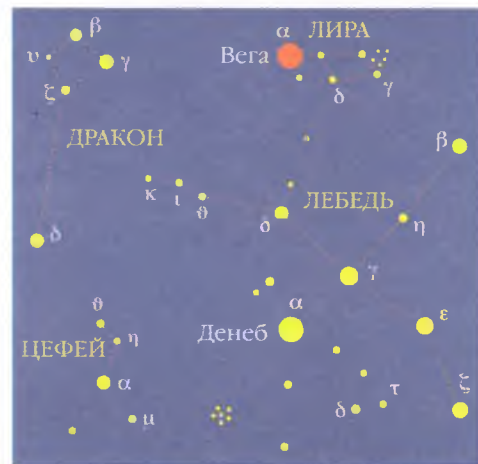


Это была первая точная оценка параллаксов звёзд в истории науки. В 1822 г. Струве сумел найти и индивидуальные параллаксы звёзд. Для Полярной звезды он получил ошибочное значение, а вот для Альтаира (α Орла) его результат был точным: $0,181' \pm 0,094'$ (современное значение $0,198'$).

Вега (α Лир)
на звёздной
карте.

В последние годы работы в Дерптской обсерватории Струве возобновил исследования по определению звёздных параллаксов. Теперь он знал, что тригонометрический параллакс может быть измерен только у наиболее близких звёзд. Поэтому учёный указал ряд признаков, по которым можно судить об удалённости звезды: видимый её блеск, собственное движение звезды, угловое расстояние между компонентами пары, если звезда двойная. Струве добавлял к этому, что линейные размеры пары можно определить по периоду её обращения.

Струве не случайно остановил свой окончательный выбор на Веге. По счастливому совпадению рядом с Вегой всего в $43'$ дуги от неё видна слабая, вероятно очень далёкая, звёздочка. Это оптическая, а не физическая пара. Вега, которая ярче и гораздо ближе к нам, имеет больший годичный параллакс, чем слабая звёздочка. Поэтому в течение года Вега должна смещаться относительно своей почти неподвижной визуальной соседки. Это угловое смещение и есть относительный параллакс, и измерить его легче, чем определить абсолютный параллакс — изменение координат Веги в течение года относительно точки весеннего равноденствия.





Параллакс Веги, полученный Струве в 1837 г. ($0,125' \pm 0,055'$), совпадает с его современным значением: ($0,121' \pm 0,004'$). К сожалению, он опубликовал свой результат только в 1939 г., уже после того, как появилось сообщение Бесселя (1784—1864) об определённом им параллаксе звезды 61 Лебеда. По этой причине приоритет первого определения звёздного параллакса принадлежит Бесселю.

Измеренные параллаксы звёзд позволили оценить расстояния до них. Уже эти первые оценки расстояний до близких звёзд внесли коррективы в представления о масштабах Вселенной. Это стало громадным научным достижением и положило начало новой эпохе в развитии астрономии.

В 1827 г. в России был поднят вопрос о строительстве крупной обсерватории. При участии Струве в Петербургской академии наук был разработан проект и сделано заключение, что «наивыгоднейшим для сего предмета была бы вершина Пулковской горы по причине обширного горизонта, коим она обладает». Этот холм находился в 19 км к югу от города и имел высоту 75 м над уровнем моря.

Строительство обсерватории продолжалось с 1834 по 1839 г. Она была оснащена самым крупным в мире телескопом-рефрактором с диаметром объектива 30 дюймов (около 0,75 м).

Струве, назначенный директором обсерватории, детально разработал программу астрономических наблюдений. Он планировал определить собственные движения звёзд и расстояния до них. Помимо этого Струве проводил наблюдения двойных звёзд, составлял звёздные каталоги.

В первые же годы существования обсерватории Струве организовал наблюдения положений всех звёзд северного неба до 7-й звёздной ве-



личины. На основе собранного материала был подготовлен каталог положений 17 тыс. звёзд, изданный в 1843 г.

Пулковская
обсерватория.
1850 г.

Система астрономических постоянных, полученная в Пулкове, стала самой точной и общепринятой в науке XIX — начала XX в. Выводы, сделанные Струве в области звёздной астрономии, собраны в его главном труде — «Этюды звёздной астрономии» (1847 г.). Учёный впервые указал на то, что явление Млечного Пути объясняется не только сплюснутостью звёздной системы, как это следовало из предположения У. Гершеля о равномерном распределении звёзд в пространстве, но и их реальной концентрацией к главной плоскости звёздной системы.



Пулковский
меридиан.



Яркая часть
Млечного Пути.

►
Газопылевая
туманность
Мексиканский
Залив.

Струве определил, что средняя линия Млечного Пути не совпадает с большим кругом небесной сферы. Из этого следует, что Солнце расположено выше главной плоскости звёздной системы. Найденное Струве смещение Солнца в современных единицах расстояний составляет 6 пк, что близко к принятому в настоящее время.

Струве доказал, что свет поглощается в межзвёздном пространстве, и оценил величину этого поглощения. Он сделал своё заключение на основе наблюдений, сравнивая теоретическую пронизывающую силу телескопа с реальной, которая для наиболее слабых звёзд оказалась почти в три раза меньше: «Я не вижу никакого другого объяснения, помимо допущения, что интенсивность света убывает быстрее, чем обратно пропорционально квадрату расстояния, что означает, что существует потеря света, ослабление при прохождении света через мировое пространство». Это открытие учёного оказалось забытым.



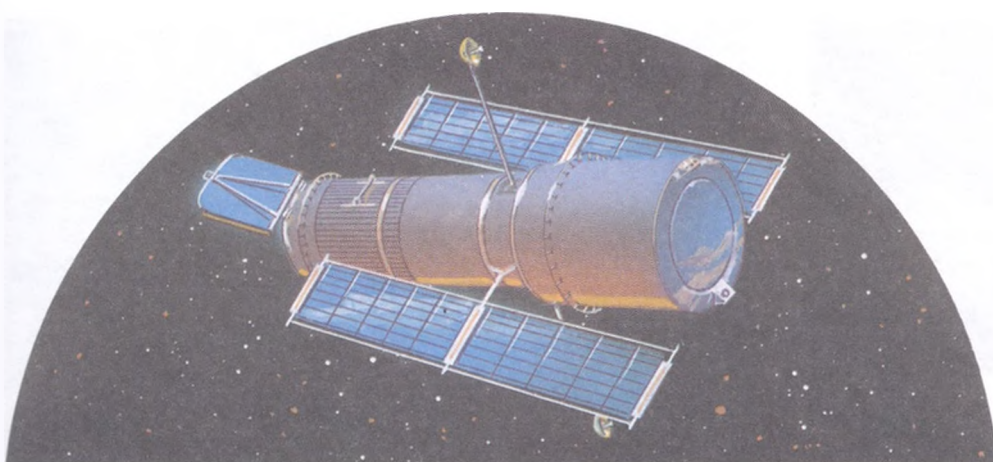
Лишь через 100 лет американский астроном Роберт Трюмплер вновь показал, что межзвёздное поглощение света существует.

В течение многих лет в зимние месяцы Струве читал популярные лекции по астрономии в Петербургском университете. Денежные сборы от них шли на благотворительные цели.

Струве умер 23 ноября 1864 г. — через три месяца после празднования 25-летнего юбилея Пулковской обсерватории. В Пулкове он и похоронен.

В честь астрономов династии Струве малая планета 768 в 1913 г. названа Струвеаной. На Луне в Океане Бурь есть кратер, носящий имя Струве.





АСТРОНОМИЯ XX И XXI ВЕКОВ

Значит ли это, что наступило время, когда, выражаясь языком поэта, «как будто не все пересчитаны звёзды, как будто наш мир не открыт до конца»? Просто самая древняя из наук прошла через свою непомерно затянувшуюся юность и вступила в зрелый период.

И. С. Шкловский

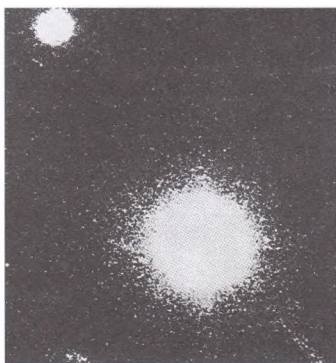
XX век для астрономии означает нечто большее, чем просто очередные сто лет. Именно в XX столетии узнали физическую природу звёзд и разгадали тайну их рождения, изучили мир галактик и почти полностью восстановили историю Вселенной, исследовали соседние планеты и обнаружили иные планетные системы.

Умея в начале века измерять расстояния лишь до ближайших звёзд, в конце столетия астрономы «дотянулись» почти до границ наблюдаемой Вселенной. Но до сих пор измерение расстояний остаётся боль-

ной проблемой астрономии. Мало «дотянуться», необходимо точно определить расстояние до самых далёких объектов; только так можно узнать их истинные характеристики.

Успехи астрономии в XX в. были тесно связаны с революцией в физике. При создании и проверке теории относительности и квантовой теории атома использовались астрономические данные. С другой стороны, прогресс в физике обогатил астрономию новыми методами и возможностями.

XIX век оставил в наследство XX веку два великих изобретения —



Рентгеновский снимок квазара 3C 273 (в центре) и одного из самых далёких квазаров (слева сверху), удалённого на 10 млрд световых лет.

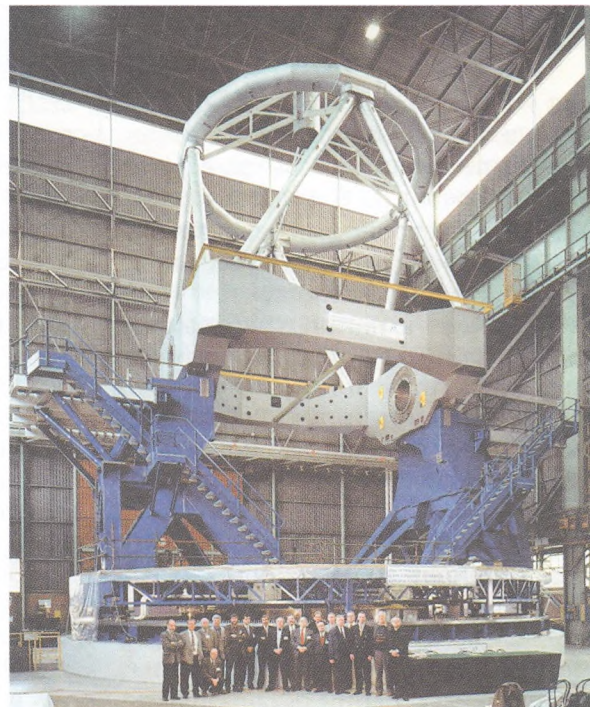
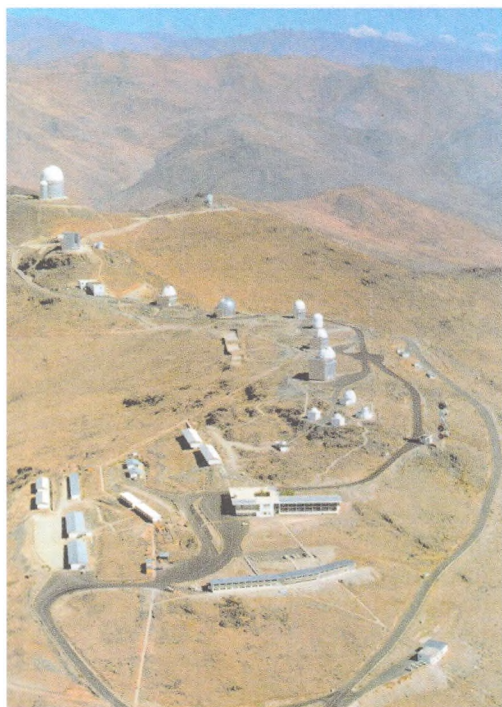


Радиотелескоп.

Европейская Южная обсерватория в Чили (слева) и один из её четырёх 8,2-метровых телескопов в период строительства.

фотографию и спектральный анализ. В астрономии это привело к рождению новой ветви — астрофизики, развившей за первую половину столетия искусство анализа света до высочайшей степени. XX век сделал астрономию всеволновой.

К 1950 г. благодаря фотопластинке и спектро스코пу была разгадана природа звёзд и галактик, открыто расширение Вселенной. Пока астрономы с увлечением использовали и развивали оптические приборы, физики и инженеры делали первые





РАЗГАДКА ТАЙНЫ ЗВЁЗД

«Отцом» теоретической астрофизики был немецкий астроном Карл Шварцшильд (1873—1916). В 1906 г. он построил теорию переноса лучистой энергии веществом звезды. В то время источник энергии Солнца и звёзд не был открыт, но было известно, сколько энергии вырабатывается в недрах Солнца. Измерены были также наружная температура и радиус Солнца.

Шварцшильду хватило этих данных, чтобы построить систему уравнений, описывающих перенос лучистой энергии из недр Солнца наружу, к его внешним слоям. Решение этих уравнений дало возможность вычислить температуру каждого слоя внутри Солнца. Зная её и учитывая силы взаимного тяготения частиц солнечного вещества, можно было рассчитать и изменение его плотности с глубиной.

Проблема эволюции звёзд порождала дискуссии, особенно усилившиеся к середине века. Выдвинутая в 1920-х гг. гипотеза эволюции звёзд предполагала, что все они проходят один и тот же путь эволюции, а мы наблюдаем их на разных этапах. Считалось, что в процессе развития звезда теряет значительную массу, проходя последовательно стадии: красный гигант — жёлтый гигант — жёлтый карлик — красный карлик. Однако открытые в начале XX в. белые карлики — звёзды весьма малых размеров, но с чудовищной плотностью — не укладывались в эту схему.

В 1934 г. эстонский астрофизик Эрнст Эпик (1893—1985) высказал идею, что жизненный путь звёзд разной массы должен быть различен. Эта идея получила всеобщее признание не скоро — лишь в 1950-х гг.

Важнейшей проблемой теории внутреннего строения звёзд была проблема источников звёздной энергии. Звёзды теряют в виде излучения громадные количества энергии. При этом ещё в начале века было известно, что срок их жизни измеряется миллиардами лет. За счёт чего же живёт и излучает звезда?

Источник звёздной энергии был предсказан Артуром Стэнли Эддингтоном и найден в 1938 г. благодаря исследованиям немецкого физика Ханса Бете. Он рассмотрел все возможные источники энергии и остановился на двух ядерных реакциях. Обе они приводили к превращению самого распространённого элемента Вселенной — водорода — во второй по распространённости элемент — гелий, как при взрыве водородной бомбы.

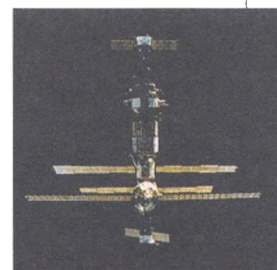
Открытие источника звёздной энергии положило начало исследованиям термоядерных реакций в недрах звёзд. Были выявлены условия, при которых они могут протекать (температура, давление). Удалось доказать, что гелий не конечный продукт этих реакций, что и он может выгорать, превращаясь в более тяжёлые элементы — углерод, азот, кислород.

Общая теория эволюции звёзд, включая конечные стадии их жизни (белые карлики, нейтронные звёзды, чёрные дыры), создана работами многих теоретиков.

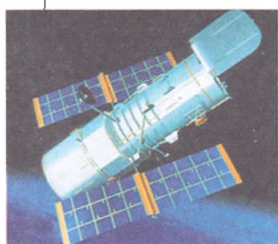
шаги в электронике и космической технике, подготавливая условия для новой революции в астрономии. Рождение наземной радиоастрономии и внеатмосферной рентгеновской, инфракрасной, ультрафиолетовой и гамма-астрономии привело к такому потоку открытий (пульсары, квазары, радиогалактики, межзвёздные молекулы, протозвёзды, нейтронные звёзды, чёрные дыры...), что на несколько десятилетий оптическая астрономия отошла на второй план.

Но вскоре и оптическая астрономия совершила рывок. В местах с

наиболее прозрачной и спокойной атмосферой — на островах и горных вершинах — были построены современные телескопы с зеркалами диаметром 4—10 м. Появились новые электронные приёмники света: фотоэлектрические умножители (ФЭУ), электронно-оптические преобразователи (ЭОП), полупроводниковые приборы с зарядовой связью (ПЗС-матрицы). Были созданы новые приборы для спектральных исследований: эталон Фабри — Перро, гризма — комбинация призмы и дифракционной решётки, авто-



Космическая станция «Мир».



Космический
телескоп «Хаббл».

корреляционный спектрограф и др. Наконец, в 1990 г. на орбиту был выведен крупный оптический инструмент — космический телескоп имени Хаббла («Хаббл»). А сейчас создаются наземные телескопы с зеркалами управляемой формы, которые почти не уступают по качеству изображений «Хабблу», но крупнее его и значительно дешевле.

К сожалению, обсерватории распределены по поверхности Земли неравномерно: большинство находится в Северном полушарии. Южное небо изучено не так подробно, как северное, и астрономы поэтому стараются сооружать новые обсерватории в Южном полушарии или вблизи экватора. Например, крупные международные обсерватории созданы в Чили, Австралии, на Гавайских и Канарских островах. Планируется строительство большой обсерватории в Антарктиде, откуда можно будет полгода непрерывно следить за Солнцем. Несколько малых обсерваторий там уже работают.

Не секрет, что быстрое увеличение числа учёных в XX в. было вызвано потребностями техники, в основном военной. Но астрономия не

так необходима для развития техники, как физика, химия, геология. Поэтому даже сейчас, в начале XXI в., профессиональных астрономов в мире не так уж и много — всего около 10 тыс. Не связанные условиями секретности, астрономы ещё в начале XX в., в 1909 г., объединились в Международный астрономический союз (МАС), который координирует совместное изучение единого для всех звёздного неба. Сотрудничество астрономов разных стран особенно усилилось в последнее десятилетие благодаря компьютерным сетям.

Несмотря на малое число исследователей, астрономия требует изрядных затрат на строительство крупных телескопов, почти не уступающих по размерам и стоимости таким гигантским «игрушкам» физиков, как ядерные реакторы и ускорители частиц. Поэтому реальный потенциал астрономии в каждой стране определяется не столько количеством учёных, сколько в значительной мере их технической оснащённостью, количеством телескопов и суммарной площадью их объективов.

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

Посетители знаменитого учёного, увидев в его домашнем кабинете небольшой телескоп, не могли не спросить, для чего он предназначен. Эйнштейн обычно отвечал: «Нет, это не для звёзд. Телескоп принадлежал бакалейщику, который раньше жил здесь. Приятная вещь. Я его берегу, как игрушку». Конечно, Эйнштейну доводилось бывать на крупнейших обсерваториях мира и видеть лучшие телескопы, но его «инструментом» было теоретическое мышление, а не астрономическая труба.

Альберт Эйнштейн — один из величайших мыслителей всех времён. С его именем связаны завершение строительства здания классической физики, начатого Галилеем и Ньютоном, и в то же время революционный переворот в представлениях о пространстве, времени и тяготении. «Идеи Эйнштейна дали физической науке импульс, который освободил её от устаревших философских доктрин и превратил в одну из решающих сил современного мира людей», — писал известный физик Макс

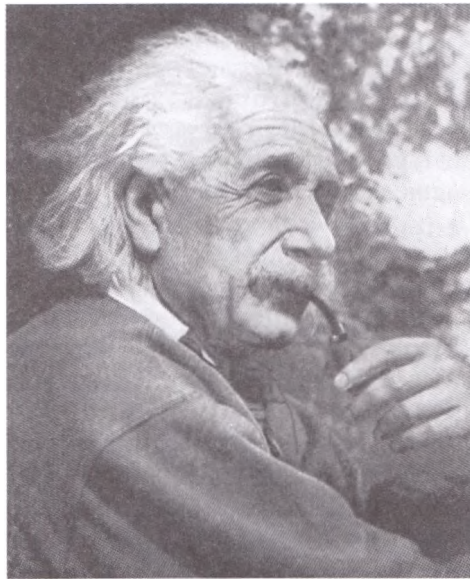


Борн. По значению, какое имели его труды для развития науки, Эйнштейна можно сравнить только с Исааком Ньютоном.

В детские годы Эйнштейна его гениальность внешне никак не проявлялась. Альберт рос тихим, замкнутым ребёнком; он редко играл с другими детьми, долго учился говорить — в семь лет мог лишь повторять короткие фразы. Но ещё в пятилетнем возрасте на него произвёл неизгладимое впечатление компас, подаренный ему отцом. Способность стрелки показывать направление на север и на юг заворожила его своей загадочностью и необъяснимостью на основе обыденных представлений. В 12 лет он был пленён красотой математической логики, прочитав случайно попавшуюся ему книгу по евклидовой геометрии. Способности к логическому мышлению Альберт унаследовал от отца, от матери же получил склонность к музыке. Со временем он научился неплохо играть на рояле и на скрипке.

Альберт Эйнштейн родился 14 марта 1879 г. в баварском городе Ульме. Его отец, Герман Эйнштейн, был владельцем магазина электротехнических товаров. Вскоре после рождения Альберта семья переехала в столицу Баварии — Мюнхен. В Мюнхене он поступил в гимназию. В то время в немецких учебных заведениях царили зубрёжка и принудительное натаскивание. Впоследствии Эйнштейн вспоминал: «По-моему, хуже всего, если школа строит свою работу на запугивании, насилии и искусственно созданных авторитетах. Такая система воспитания губит здоровые чувства и непосредственность школьников, убивает их веру в собственные силы. Так создают приращенных верноподданных».

Однако из Эйнштейна сделать послушное «стадное животное» было невозможно. Он с жадностью читал



Альберт
Эйнштейн.

научно-популярную литературу, по-своему осмысливая явления общественной жизни: «Следствием этого было моё прямо-таки фанатическое свободомыслие, соединённое с выводами, что государство умышленно обманывает молодёжь; это был потрясающий вывод». Не меньше, чем теория относительности, известен афоризм Эйнштейна: «Лишь немногие в состоянии спокойно высказывать мнения, расходящиеся с предрассудками окружающей среды; большинство же людей вообще неспособно прийти к такого рода мнениям».

Как-то в гимназии к Альберту подошёл классный наставник и сказал: «Мне хотелось бы, чтобы вы покинули нашу школу!» Изумлённый Альберт ответил: «Но ведь я ни в чём не провинился!» «Да, это верно, — перебил его учитель, — но одного вашего присутствия в классе достаточно, чтобы полностью подорвать уважение к учителям».

Неудивительно, что, как только представилась возможность, ранней весной 1895 г. 16-летний Альберт покинул гимназию и направился в Милан, где к тому времени обосно-



Эйнштейн
во время учёбы
в Аарау. 1896 г.

вались его родители. Они не были очень обрадованы, когда сын прибыл к ним без аттестата о среднем образовании и даже без паспорта.

Позже Альберт попытался поступить в Политехникум, федеральное высшее политехническое училище в Цюрихе, известное своим высоким уровнем преподавания в области естественных наук. Однако он не сдал вступительные экзамены. Несмотря на обширные познания в области математики и физики, Эйнштейн провалился на экзаменах по иностранным языкам и истории.

По совету ректора Политехникума Альберт поступил в выпускной класс кантональной школы в Аарау в Швейцарии. Какой разительный контраст почувствовал он по сравнению с немецкой гимназией! «Эта школа произвела на меня неизгладимое впечатление своим либеральным духом, а также скромностью и серьёзностью педагогов, которым помогал в работе подлинный, а не дутый авторитет. Сравнение с шестилетним пребыванием в немецкой гимназии, где царила автори-

тарность, отчётливо показало мне, насколько воспитание, основанное на свободе действий и чувства ответственности перед самим собой, совершеннее воспитания, строящегося на муштре, дутом авторитете и честолубии. Демократия — не пустой звук».

Именно тогда, в школе Аарау, Эйнштейн стал задумываться над вопросами физики, которые впоследствии привели его к созданию специальной теории относительности. Именно тогда, говоря его же словами, он проверял свои умозаключения в «первом детском мысленном эксперименте»: «Что случилось бы, если бы мы могли следовать за световым лучом со скоростью света? Не оказалось бы тогда перед нами застывшее, „не зависящее от времени волновое поле“».

Эйнштейн твёрдо решил стать преподавателем физики и, сдав в школе выпускные экзамены, в октябре 1896 г. был принят в Политехникум. Здесь Альберт Эйнштейн учился у таких выдающихся математиков, как Адольф Гурвиц и Герман Минковский.

Нельзя не сказать ещё об одном увлечении Эйнштейна — музыке. Он стал хорошим скрипачом, охотно участвовал и в домашнем музицировании, и в любительских концертах, играя Генделя и Брамса, Шумана и Шуберта. Однако его любимыми композиторами всегда оставались Бах и Моцарт. Именно в их произведениях его покоряла та прозрачность и гармония, которую он искал, строя свои теории Вселенной.

Летом 1900 г. Эйнштейн сдал экзамены на диплом преподавателя физики. Оценки были не слишком высокими, и он не получил место ассистента, которое дало бы ему возможность заниматься столь заманчивой для него научной работой. Только через два года по рекомендации друзей он смог устроиться на постоянную работу экспертом



Эйнштейн —
служащий в Берне.
1905 г.



федерального патентного бюро в Берне. Эйнштейн проработал там с 1902 по 1909 г. Он считал это время самым счастливым и плодотворным периодом своей жизни: служебные обязанности оставляли ему достаточно времени для размышлений над научными проблемами.

Наиболее удачным оказался для Эйнштейна 1905 год, когда 26-летний физик опубликовал в журнале «Анналы физики» (*нем. Annalen der Physik*) пять статей, которые представляли собой подлинные шедевры научной мысли.

Работа «Об одной эвристической точке зрения на возникновение и превращение света» содержала смелую гипотезу о световых квантах — элементарных частицах электромагнитного излучения, летящих в мировом пространстве наподобие пуль. Гипотеза Эйнштейна позволила объяснить фотоэлектрический эффект: появление тока при освещении вещества коротковолновым излучением. Эффект был открыт в 1886 г. Генрихом Герцем и не укладывался в рамки волновой теории света. За эту работу позднее Эйнштейн был удостоен Нобелевской премии. Ею была открыта новая — квантовая — эпоха в развитии физики. Она создала идейную основу для знаменитой модели атома Резерфорда — Бора, по которой свет излучается и поглощается порциями (квантами), и гениальной концепции «волн материи» Луи де Бройля. Незадолго до того Макс Планк установил, что тепло тоже излучается квантами. Теперь стало ясно, что причина этого — не в излучающих атомах, а в самом свете. Свет обладает как волновыми, так и корпускулярными (от *лат. corpusculum* — «мельчайшая частица») свойствами. Таким образом был осуществлён гениальный синтез двух, казалось бы, несовместимых точек зрения на природу света, высказанных в своё время Гюйгенсом и Ньютоном.

Статью «К электродинамике движущихся тел» можно рассматривать как введение в *специальную теорию относительности* — СТО, которая произвела переворот в представлениях о пространстве и времени.

Эйнштейн начал с двух постулатов, в которых в сжатом виде представлены механика Галилея — Ньютона и электродинамика Максвелла:

1. Все законы физики имеют одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчёта (в тех системах, где справедливы законы механики Ньютона).

2. В любой из этих систем скорость света одинакова вне зависимости от того, испускается свет покоящимся или движущимся телом (а значит, во всех системах отсчёта выполняются уравнения электромагнитного поля).

Скорость света *c* выступает как недостижимый предел скоростей для всех процессов, сопровождающихся передачей информации.

Статья «Зависит ли инерция тела от содержания в нём энергии?»

ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ

Из постоянства скорости света вытекает знаменитый парадокс близнецов теории относительности. Время в быстро движущейся системе отсчёта замедляет свой ход по сравнению с покоящейся системой. Из этого следует, что космонавт, совершивший полёт с околосветовой скоростью, вернувшись на Землю, окажется моложе своего брата-близнеца, всё время остававшегося на Земле. И это не фантазия. Факт релятивистского замедления времени экспериментально подтверждён при исследованиях космических лучей. Сталкиваясь с атомами воздуха верхней атмосферы, они порождают частицы, которые движутся с околосветовыми скоростями и поэтому могут достигать приборов, расположенных на поверхности Земли, хотя в неподвижном состоянии они имеют очень малые времена жизни. Если бы не релятивистский эффект продления жизни, они просто не успели бы долететь до прибора от верхних слоёв атмосферы, где они образовались, а распались бы по пути.



завершает создание релятивистской (от *лат.* *relativus* — «относительный») теории. Здесь впервые была доказана связь между массой и энергией, в современных обозначениях — $E = mc^2$. Эйнштейн писал: «...если тело отдаёт энергию E в виде излучения, то его масса уменьшается на E/c^2 ... Масса тела есть мера содержащейся в нём энергии».

Это открытие вышло за пределы физики, техники и философии и до сегодняшнего дня косвенно определяет судьбу человечества. Ведь атомная энергия — это не что иное, как превратившаяся в энергию масса.

Появление столь эпохальных работ не принесло Эйнштейну быстрого признания. И хотя с ним переписывались и встречались такие известные учёные, как Макс Планк и Вильгельм Вин, Арнольд Зоммерфельд и Макс Борн, он всё ещё вынужден был продолжать работать в патентном бюро. Только весной 1909 г. Эйнштейна избрали профессором теоретической физики в цюрихском Политехникуме, и он смог уйти из бюро.

Скрипичный дуэт.



Научный мир наконец признал Эйнштейна, и в 1913 г. его избрали членом Прусской академии наук. Он приехал в Берлин в начале 1914 г. Здесь Эйнштейн получил исключительно благоприятные условия для продолжения своей научной работы. Казалось бы, всё складывалось как нельзя лучше, но через четыре месяца началась Первая мировая война. Шовинистический угар охватил и научные круги Германии. Однако Эйнштейн отказался подписать проникнутый духом лживого «патриотизма» манифест, под которым стояла подпись великого Планка. Во время войны учёный неизменно выступал с позиции последовательного пацифизма: «Я глубоко презираю тех, кто может с удовольствием маршировать в строю под музыку... Какой гнусной и презренной представляется мне война. Я бы скорее дал разрезать себя на куски, чем участвовать в таком подлом деле».

Война не прервала научного творчества Эйнштейна. В 1916 г. он опубликовал «Основы общей теории относительности».

Вскоре Эйнштейн понял, что его теория должна определять общую структуру Вселенной. Первая релятивистская космологическая модель мира была представлена им в статье «Вопросы космологии и общая теория относительности» (1917 г.). Вселенная Эйнштейна, устроенная и живущая по законам общей теории относительности (ОТО), статична, неизменна. Она имеет конечную массу, т. е. конечное число звёзд, галактик и конечный объём. К Большой Вселенной приложимы законы неевклидовой геометрии. Её пространство искривлено под действием тяготеющих масс таким образом, что световой луч, выходящий из какой-либо точки, распространяясь по кратчайшей линии в искривлённом трёхмерном пространстве, снова вернётся к своей исходной точке.



Вселенная Эйнштейна оказалась замкнутой на себя. Она была конечна, но безгранична, так как не имела ни «стенок», ни пространства «за стенками».

Вся жизнь Эйнштейна была посвящена научным исследованиям. В 1921 г. он получил Нобелевскую премию за «заслуги в области теоретической физики и в особенности за открытие закона фотоэлектрического эффекта». Присуждение этой премии еврею резко подогрело профашистские антисемитские настроения в Германии. Нападки на Эйнштейна усилились, дело дошло даже до угроз убийства. Однако он продолжал активную научную работу, читал много публичных лекций. Он много путешествовал, способствуя восстановлению международных научных связей, нарушенных мировой войной. Но когда осенью 1932 г. он выехал в США, это оказалось окончательным прощанием с родиной.

В январе 1933 г. к власти пришёл Гитлер. Нацисты планировали исключить еврея Эйнштейна из Прусской академии наук. Своим заявлением о выходе из Академии от 28 марта 1933 г. учёный разрушил этот план. Он отказался от германского гражданства и вынужден был поселиться в США. Эйнштейн стал постоянным сотрудником Института высших исследований (*англ.* Institute for Advanced Study) в Принстоне. В тот период своей научной деятельности он пытался создать единую теорию поля, т. е. теорию, которая объединила бы все существующие физические поля. Долгие годы он продолжал упорно работать, но уровень развития физики в то время не позволил продвинуться так далеко. Сам Эйнштейн говорил о своей теории как о незавершённой.

Живя в Америке, Эйнштейн пристально следил за развитием политической ситуации в Европе. Открытие деления ядра урана его встревожило.



Спиральная галактика М 83.

В письме, которое 11 октября 1939 г. было передано президенту США Рузвельту, Эйнштейн обратил внимание на реальную возможность создания ядерного оружия. По его мнению, США должны были как можно скорее создать атомную бомбу, чтобы исключить вероятную монополию на её обладание фашистской Германией. Через несколько лет, однако, Эйнштейн решительно осудил американское правительство, когда на японские города Хиросиму и Нагасаки были сброшены атомные бомбы. Незадолго до смерти Альберт Эйнштейн и философ Бертран Рассел обратились с воззванием к правительствам великих держав, в котором они предостерегали человечество от самоуничтожения в атомной войне.

Альберт Эйнштейн скончался в Принстоне 18 апреля 1955 г.

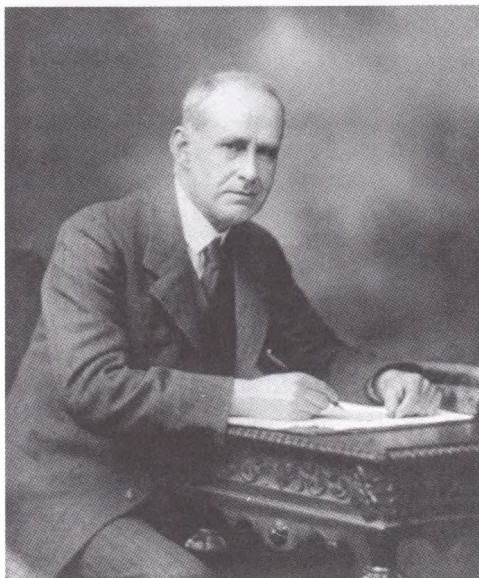
Пожалуй, будет не вполне правильным сказать, что он жил и работал в XX в. Скорее, наоборот, XX век останется в истории как век, в котором жил Эйнштейн.



АРТУР СТЭНЛИ ЭДДИНГТОН

Согласившись на предложение королевского астронома сэра Уильяма Кристи занять должность главного ассистента в Гринвичской обсерватории, Эддингтон писал матери: «Моя работа будет главным образом в дневное время, но особенно в течение первого года моей работы я буду наблюдать по ночам — хорошее занятие для того, чтобы в совершенстве понять инструменты».

Артур Стэнли
Эддингтон.



Большая наблюдательная практика, приобретённая Эддингтоном, позволила ему точно определить степень достоверности наблюдательного материала, развила у него сильную интуицию при отборе и интерпретации полученных данных. Астроном Божьей милостью, Эддингтон был и выдающимся физиком-теоретиком. Нобелевский лауреат С. Чандрасекар поведал об анекдотическом случае: «Как-то после заседания Королевского астрономического общества Людвиг Зильберштейн подошёл к Эддингтону и сказал: „Профессор Эддингтон, вы, должно быть, один

из трёх человек в мире, которые понимают общую теорию относительности“. Заметив замешательство Эддингтона, Зильберштейн добавил: „Не скромничайте, Эддингтон“. На что тот ответил: „Напротив, я стараюсь понять, кто этот третий человек“. И действительно, Эддингтон был одним из очень немногих, кто сразу понял значение общей теории относительности, принял участие в её развитии, наблюдательном подтверждении и тем самым способствовал её всемирному признанию. Такое сочетание в одном лице талантливого наблюдателя и гениального теоретика — исключительно редкое явление в истории астрономии.

...

Артур Стэнли Эддингтон родился 28 декабря 1882 г. в Англии, в городке Кендал. Его родители были высококультурные люди и к тому же квакеры, воспитывавшие детей в духе приверженности к полезным занятиям.

По собственному признанию Эддингтона, он начал интересоваться астрономией, когда ему было всего шесть лет. В десятилетнем возрасте Эддингтон с увлечением наблюдал небо в трёхдюймовый телескоп, который ему выдали в школе.

Окончив частную школу в 1898 г., он получил от Совета по школам графства стипендию сроком на три года по 60 фунтов стерлингов в год. Это позволило ему в неполные 16 лет поступить в Оуэновский колледж в Манчестере. Эддингтон сосредоточился на изучении математики и физики. По завершении образования он получил степень бакалавра наук по физике.

Осенью 1902 г. Эддингтон поступил в Тринити-колледж Кембриджского университета, где два столетия



назад учился и затем преподавал Исаак Ньютон. Это учебное заведение давало в то время наилучшее образование в области физико-математических наук.

В студенческие годы Эддингтон участвовал в деятельности различных клубов и обществ: Кембриджского математического клуба, Кавендишского (физического) общества, Шахматного клуба (вице-президент), Союза нонконформистов и неформального литературного клуба, где в основном читали Шекспира.

В университете Эддингтон сдал самый сложный экзамен, так называемый математический трайпос, уже через два года после начала обучения, как и другие наиболее одарённые студенты, например за несколько лет до него Джеймс Джинс. В 1905 г. ему была присвоена учёная степень бакалавра искусств Кембриджского университета.

В 1905 г. Эддингтон стал читать в Кембридже лекции по сферической тригонометрии и ряду разделов физики, однако эта деятельность его не вполне удовлетворяла. Он был рад, когда ему в 1906 г. предложили занять место главного ассистента в Гринвичской королевской обсерватории.

Он изучил основы практической астрономии, а для того чтобы быть в курсе последних событий в астрономической науке, посещал еженедельные собрания Королевского астрономического общества. В 1907 г. Эддингтон стал членом клуба Общества. И это событие ввело его в круг научной элиты Соединённого Королевства.

Королевское астрономическое общество — старейшее в мире. За выдающийся вклад в развитие астрономической науки Обществом регулярно присуждаются золотая и именные медали. В настоящее время выдаю-

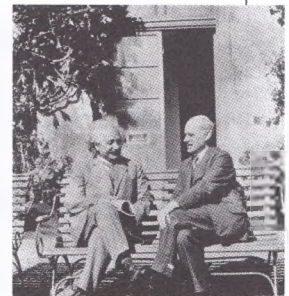


щиеся астрофизики награждаются медалью имени Эддингтона.

Работу в Гринвиче учёный начал с исследования собственных движений звёзд. Его первая научная статья «Систематические движения звёзд» была опубликована в 1906 г.

В 1913 г. Эддингтон был избран профессором астрономии Кембриджского университета, а год спустя — членом Лондонского королевского общества и директором университетской обсерватории. Во время Первой мировой войны Эддингтона пытались привлечь к военной службе. Он, однако, заявил: «Я отказываюсь идти на военную службу по религиозно-этическим мотивам», дав тем самым ясно понять, что, как и все квакеры, он является непреклонным пацифистом. Дело приобрело драматический оборот. Но спасло вмешательство королевского астронома сэра Фрэнка Дайсона, который указал на большое значение научных исследований Эддингтона. Дайсон особенно подчеркнул необходимость его участия в экспедиции для наблюдения солнечного затмения весной 1919 г., во время которого

Эддингтон играет с матерью в шахматы.



Эддингтон и Эйнштейн.



► Негативный снимок солнечного затмения, сделанный Эддингтоном для проверки ОТО. Чёрточками помечены контрольные звёзды.

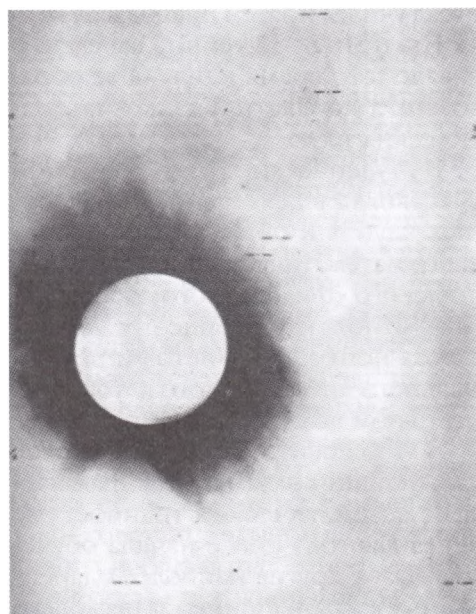
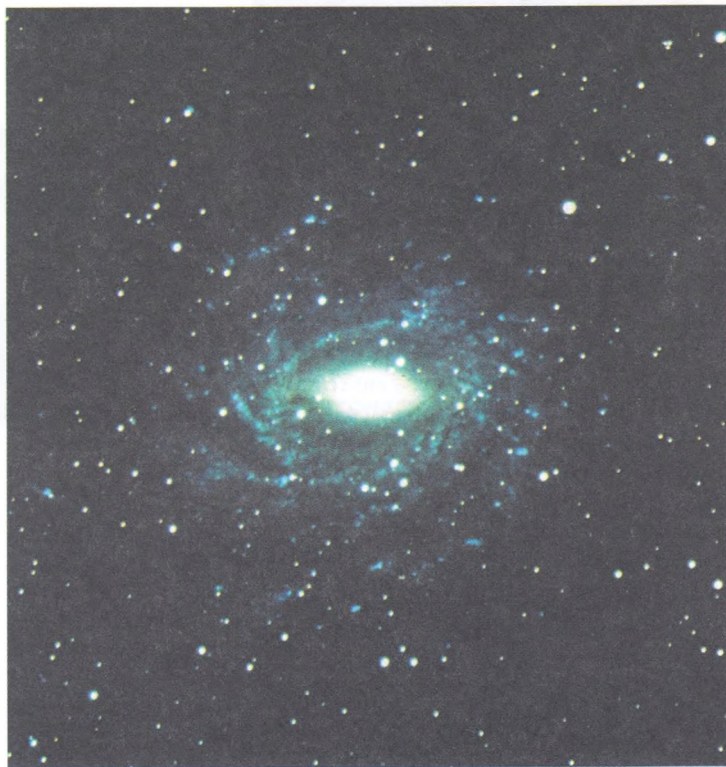
можно было провести наблюдательный тест общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна.

Эддингтон решил проверить одно из предсказаний ОТО — искривление пространства над поверхностью Солнца в сильном поле его тяготения. 29 мая 1919 г. он наблюдал полное солнечное затмение на Принсипи, небольшом острове у западного побережья Африки, в Гвинейском заливе. Измерение смещения звёзд вблизи Солнца, сфотографированных в момент полной фазы затмения, показало точное совпадение с предсказанным ОТО. Эддингтон считал это великим моментом в своей жизни.

Учёный участвовал также в развитии математического аппарата ОТО и написал о ней популярную книгу «Пространство, Время, Тяготение» (1920 г.).

Но главным делом жизни Эддингтона было исследование звёздного

Спиральная галактика.



мира. Одним из первых он выступил в пользу теории островных вселенных, подчёркивая, что спиральные туманности являются другими галактиками.

Особенно интересовала Эддингтона физическая природа звёзд, и именно в её познании состоит его основной вклад в науку. Важнейшее открытие его заключается в том, что звезда — это газовый шар от поверхности до центра, а не жидкое тело, как считалось раньше.

Эддингтону принадлежит основополагающая идея о переносе энергии наружу из внутренних горячих областей звезды (где и происходит, как правило, её выделение) передачей квантов от атома к атому — излучением и поглощением — лучеиспусканием, а не конвекцией, не кипением газовой массы звезды, как предполагалось ранее. Теперь на давление излучения стали смотреть как на важнейший фактор равновесного состояния нормальных звёзд.

Разработав теоретические модели звёзд, Эддингтон установил зависимость масса — светимость, которая вскоре была подтверждена наблю-



дениями. Стало ясным, что вещество недр звёзд, как он и предполагал, находится в состоянии идеального газа. «Я представил звезду с такой точки зрения, что недра звезды должны рассматриваться как тепловая машина и, следовательно, объектом знакомого закона тепловых машин...» — писал учёный.

Эддингтон теоретически доказал, что существует верхний предел светимости звезды, которую может поддерживать данная масса. Он так и называется — *эддингтоновский предел светимости*. Это введенное им понятие играет важнейшую роль в изучении квазаров, рентгеновских источников и чёрных дыр. Так, принимая, что светимость этих объектов близка к эддингтоновскому пределу, можно оценить их массу. С другой стороны, ещё в 1917 г. Эддингтон первым понял, что значительный разброс в светимостях звёзд не означает такой же сильной вариации в их массах.

Эддингтону принадлежит теория белых карликов — нового типа звёзд, плотность которых выше обычной плотности звёзд в сотни тысяч раз. Вот как о ней в популярной брошюре «Звёзды и атомы» (1927 г.) рассказывал сам автор: «Сообщение спутника Сириуса после его расшифровки гласило: „Я состою из вещества, плотность которого в 3000 раз выше, чем всё, с чем вам когда-либо приходилось иметь дело; тонна моего вещества — это маленький кусочек, который умещается в спичечной коробке“. Что можно сказать в ответ на такое послание? В 1914 г. большинство из нас ответило бы так: „Полно! Не болтайте глупостей!“ Но в 1924 г. была развита теория, открывавшая возможность чрезвычайного сжатия материи в звёздах до плотности, намного превосходящей всё, что нам известно из земных опытов».

Эддингтон также первым понял, что независимым подтверждением

высокой плотности белого карлика было бы обнаружение в его спектре значительного гравитационного красного смещения. В 1924 г. он рассчитал это смещение для спутника Сириуса и получил значение 20 км/с. В 1925 г. по просьбе Эддингтона Уолтер Сидни Адамс выполнил его измерение и получил среднее значение 21 км/с.



Эддингтон у памятника Кеплеру в Вейльдер-Штадте. 1928 г.

Ещё в 1920 г., задолго до создания ядерной физики, Эддингтон указал на реакцию превращения водорода в гелий как на возможный источник энергии звёзд. Обсуждая проблему источников энергии звёзд, он понял, что энергия в звезде генерируется со скоростью, зависящей от температуры и плотности, и процесс должен саморегулироваться, иначе невозможно устойчивое состояние, т. е. звезды просто не будут. А это возможно лишь в случае реакций термоядерного синтеза. И хотя теория таких реакций была создана гораздо позднее, в основном Эддингтон оказался прав. А критикам, которые указывали на недостаточную температуру в недрах звёзд для реакций синтеза, он советовал пойти «поискать место погорячее», что на английском языке означает просто послать к чёрту.

Эддингтона можно смело считать основоположником теоретических исследований и по физике межзвёздной среды. Он указал на то, что вращение Галактики можно определить



Рыбачья
Сеть — первая
туманность,
с которой
в 1957 г. был
сделан цветной
снимок.

с помощью кальциевых облаков, а в одной из своих последних работ в 1943 г. — и на то, что неоднородное распределение межзвёздного вещества должно производить возмущения в орбитах звёзд.

Свои исследования природы звёзд Эддингтон подытожил в монографии «Внутреннее строение звёзд» (1926 г.), получившей, как и вышедшая ранее «Математическая теория относительности» (1924 г.) и опубликованная позднее «Фундаментальная теория» (1946 г.), широчайшую мировую известность.

Эддингтон был не только крупнейшим физиком и астрофизиком, но и выдающимся представителем философии науки. Он считал, что мир открывается не только через наблюдения и логическое мышление, но и через религиозное постижение «невидимого мира», в который можно

проникнуть только путём мистического опыта. Эддингтон придерживался принципа дополнительности рационально-научного и мистико-религиозного познания. То, что он был естествоиспытателем, не мешало ему быть религиозным мистиком.

Эддингтоном были написаны работы по философии науки и многочисленные книги и брошюры, популяризирующие достижения физики и астрономии.

Научные достижения Эддингтона принесли ему заслуженное признание как в своей стране, так и за рубежом. В 1930 г. он был посвящён в рыцари. Эддингтона избирали президентом Королевского астрономического общества, президентом Международного астрономического союза (1938 г.), почётным или иностранным членом академий и научных обществ Америки, России и почти всех европейских стран.

Сэр Артур Стэнли Эддингтон скончался 22 ноября 1944 г.

Символом жизни сэра Артура, наверное, может служить его любимое четверостишие, которое он поместил на обложке своего дневника:

*Движеньем Руки создавалось
Писание,
И вечен сей труд всеблагой.
Все мерзкие козни не встанут
преградой.
И Он не пожертвует светлой
строкой.*

ДЖЕЙМС ХОПВУД ДЖИНС

Ещё будучи молодым исследователем, только что закончившим обучение в Кембридже, Джеймс Джинс обратился к известному физiku Джозефу Лармору с просьбой предложить ему тему для дальнейшей работы. На это Лармор с иронией от-

ветил: «Что будет с грядущим миром, если молодёжи нужно подсказывать, над чем работать?»

Но в действительности Джинс в такой помощи не нуждался. Его замечательная интуиция подсказывала ему актуальные задачи, реше-



ние которых было необходимо для прогресса науки. Джинс по праву считается одним из создателей нового научного направления — теоретической астрофизики. Он был в числе первых профессиональных физиков-теоретиков, начавших работать в области астрономии и привнёсших в неё аппарат теоретической физики.

В начале своей научной деятельности Джинс занимался кинетической теорией газов и теорией излучения. Им была получена и строго обоснована формула для распределения энергии в спектре равновесного излучения, носящая в настоящее время имена Рэля и Джинса. Он является создателем теории гравитационной неустойчивости, позволяющей понять и описать, как из разреженного вещества образуются небесные тела, и лежащей поэтому в основе современных исследований в области космогонии и космологии. Со временем астрофизические проблемы стали всё сильнее занимать учёного. Из-под его пера вышли основополагающие работы по звёздной динамике, теории внутреннего строения и эволюции звёзд, теории фигуры вращающихся небесных тел. Наибольшую известность Джинсу принесла его гипотеза образования Солнечной системы в результате сближения двух звёзд. Несмотря на то что в настоящее время его гипотеза представляет только исторический интерес, некоторые теоретические результаты Джинса в этой области сохранили значение до наших дней.

Джеймс Джинс родился 11 сентября 1877 г. в английском городе Ормзкирке, в графстве Ланкашир. Его отец Уильям Таллох Джинс был журналистом и автором книг об учёных. Мать Джеймса Марта Энн Хопвуд происходила из старинной



Джеймс Хопвуд
Джинс.

семьи промышленников. Родители способствовали развитию мальчика, обладавшего прекрасной памятью и редкими способностями. В три года он понимал, какое время показывают часы, к четырём годам уже свободно читал.

В сентябре 1890 г. Джеймс поступил в Тейлоровскую коммерческую школу с высоким уровнем преподавания. В школе у него проявились блестящие способности и интерес к математике и физике.

В 1896 г. Джинс был зачислен в Тринити-колледж Кембриджского университета, всемирную славу которому принёс Исаак Ньютон, обучавшийся и работавший там за 250 лет до Джинса. И в конце XIX — начале XX в. Кембриджский университет оставался учебным заведением, дающим лучшее в мире образование в области математики и естественных наук. В колледже Джинс был удостоен стипендии имени Ньютона по астрономии и оптике. Позднее в течение нескольких лет он и сам преподавал там.

Под влиянием астронома Джорджа Дарвина, сына великого естест-



воиспытателя, студент Джинс провёл теоретические исследования по гравитационной неустойчивости в облаках космического вещества. Главное в этой теории Джинса — учёт противоборства двух факторов: тяготение стремится собрать вещество в отдельные сгустки, а затем сжать их в компактные небесные тела, а давление выравнивает неоднородности, уничтожает зародыши небесных тел и равномерно рассеивает вещество в газовом облаке. Молодой учёный показал, что гравитационная неустойчивость и сжатие наступают при размерах возмущения, превышающих так называемую *джинсовскую длину* волны.

В 1903 г. Джинс получил степень магистра, а на следующий год был назначен лектором по математике в Кембриджском университете. Эту должность он занимал до отъез-



Рассеянное звёздное скопление NGC 6193, состоящее из молодых горячих звёзд, которые подсвечивают межзвёздную материю. Это скопление, удалённое на 4 тыс. световых лет, является местом интенсивного звездообразования.

да в 1905 г. в Принстон, в Америку. В 1906 г. он был избран членом Лондонского королевского общества. Это признание на родине пришло к нему, когда ему было всего 28 лет. Вскоре после возвращения в Англию в 1909 г. Джинс оставляет преподавательскую деятельность, чтобы всецело посвятить себя науке.

Интересы Джинса теперь полностью обращены к астрономии. Он начинает исследовать движение звёздных роёв, уподобляя движение звёзд поведению частиц в газовом облаке. Одновременно Джинс изучает форму и устойчивость быстро вращающихся небесных тел. Французский математик Жюль Анри Пуанкаре показал, что при возрастании скорости вращения сплюснутого сфероида он может принять грушевидную форму. Исследования Джинса показали неустойчивость грушевидных конфигураций. Он заключил, что возможно разделение вращающейся массы на две отдельные конфигурации, в результате чего образуются звёздные пары. В 1922 г. ему была вручена золотая медаль Королевского астрономического общества.

Работая над гипотезой образования Солнечной системы, Джинс пришёл к выводу, что гипотеза Лапласа не в состоянии объяснить, как ничтожные по массе планеты, отделяясь от Солнца, могли отнять у него так много вращательного движения. Джинс полагал, что в далёком прошлом некая звезда прошла рядом с Солнцем и своим притяжением вырвала часть солнечного вещества. Предположив, что прошедшая массивная звезда передала планетам достаточный вращательный момент, Джинс, казалось, решил проблему. В его схеме планеты образовались в результате гравитационной неустойчивости непосредственно в выброшенном из Солнца веществе.



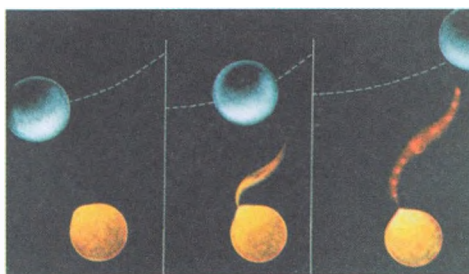
Однако детальный анализ предложенного Джинсом космогонического сценария показал, что на его пути возникают непреодолимые трудности. Это понимал и сам Джинс.

В 1919 г. Джинс был избран секретарём Королевского астрономического общества, а в 1925—1927 гг. — его президентом. В то время он особенно интересовался источниками энергии и внутренним строением звёзд. Ещё в 1904 г. Джеймс Джинс высказал мысль, что энергия звёзд могла бы возникать за счёт аннигиляции вещества, а в дальнейшем полагал главным источником энергии распад сверхтяжёлых элементов. Оба эти предположения были неверными, и в конечном счёте прав оказался Эддингтон, полагавший, что звёзды светят не за счёт распада тяжёлых атомных ядер, а за счёт синтеза — синтеза гелия из водорода.

В 1917 г. Джинс высказал предположение, что из-за очень высокой температуры вещество в недрах звезды полностью ионизовано. Его догадка открыла путь к познанию внутреннего строения звёзд. Рассчитывая модель звезды, теперь её можно было представить в виде однородного «газа» из электронов и положительно заряженных атомных ядер, к которому из-за ничтожного объёма, занимаемого частицами, применимы законы идеального газа.

Эта гипотеза Джинса, как и его предположение о том, что перенос энергии теплопроводностью недостаточен для объяснения мощного излучения звёзд, существенно помогли Эддингтону в построении его стационарной модели звезды.

Джинс и Эддингтон во многом придерживались различных взглядов на природу звёзд, что выразилось в знаменитой полемике, проходившей в Королевском астрономическом обществе с 1917 г. Представления Эддингтона в этой области оказались



Джинсовская гипотеза образования планет Солнечной системы.



Выброс солнечного протуберанца высотой 500 000 км. Фотография сделана в ультрафиолетовых лучах с борта орбитальной станции «Скайлэб».

более верными, чем у Джинса, что, однако, не уменьшает громадой роли трудов Джинса в области теоретической астрофизики.

1928 год был ознаменован для Джинса двумя событиями: за заслуги перед наукой и Королевским обществом он был посвящён в рыцари, и вышла в свет монография «Астрономия и космогония», которая подытожила его исследования в этих областях. Вслед за этим Джинс создал несколько популярных книг по астрономии. За «Вселенной вокруг нас» (1929 г.) вышли «Загадочная Вселенная» в 1930 г., «Движение миров» в 1931 г., «Сквозь пространство и время» в 1934 г., «Физика и философия» в 1941 г. Книга «Развитие физической науки» была опубликована в 1947 г., уже после смерти автора. Работы Джинса-популяризатора написаны с большим литературным мастерством.



ХАРЛОУ ШЕПЛИ (1885—1972)

Выдающийся астроном Харлоу Шепли родился 2 ноября 1885 г. в городе Нашвилле — не в центре Соединённых Штатов, но и не на самой окраине. Юношей он поработал газетным репортёром и в университет своего родного штата Миссури поступал с желанием выучиться на журналиста. Но отделение журналистики в университете должно было открыться только через год, и Шепли как бы случайно сделался астрономом. Его учителем был знаменитый Генри Рассел, один из двух первооткрывателей замечательной диаграммы, которую сегодня называют диаграммой Герцшпрунга — Рассела и считают главным инструментом анализа эволюции звёзд.

Умение наблюдать и размышлять в равной мере нужно и хорошему журналисту, и отличному астроному. Одной из первых больших научных работ Шепли стал анализ наблюдений затменных двойных звёзд. В то время звезду δ Цефея многие считали затменной. Шепли убедительно опроверг это мнение и предположил, что δ Цефея — одиночная пульсирующая звезда. Он одним из первых понял огромное значение цефеид для определения расстояний во Вселенной. Исследования переменных звёзд в шаровых скоплениях помогли ему научиться определять расстояния до этих объектов. А дальше Шепли догадался, что богатая россыпь шаровых скоплений в созвездии Стрелец говорит о том, что именно там, на расстоянии многих десятков тысяч световых лет от Солнца, находится центр нашей Галактики. До этого неявно предполагалось, что человечество занимает «привилегированное» положение где-то поблизости от центра Галактики. За это открытие, не слишком лестное для нашего самолюбия, Шепли называли Коперником XX века.



Харлоу Шепли

Шепли — один из немногих учёных, про кого можно сказать, что его прославила публичная научная дискуссия. В 1920 г. в Вашингтоне состоялся научный спор между ним и астрономом Г. Кёртисом о размерах нашей звёздной системы и о природе спиральных туманностей. Шепли правильно утверждал, что наша Галактика огромна, но ошибочно считал спиральные туманности частями нашей звёздной системы.

В 1938 г. на гарвардской фотопластинке звёздного неба Шепли и его ученица Сильвия Масселс заметили чуть притемнённое место, похожее на след пальца (пластинку проявили три года назад) или на брак эмульсии, но не на небесный объект. Только тщательное исследование пластинки и эмульсии и перефотографирование неба привели к открытию первой карликовой галактики в созвездии Скульптор. Так Шепли открыл первую «звёздную деревню» во Вселенной. А деревень там, как и на Земле, больше, чем городов.

Харлоу Шепли прожил долгую жизнь учёного и организатора науки. Он работал на обсерватории Маунт-Вилсон, с 1921 по 1952 г. был директором Гарвардской обсерватории, но юношеское пристрастие «скрипеть пером» его не оставляло. Шепли написал отличные популярные книги по астрономии. На русском языке изданы «От атомов до млечных путей» (1934 г.), «Галактики» (1947 г.) и «Звёзды и люди» (1962 г.).

В созданных в последние годы жизни книгах Джинс неоднократно обращался к важнейшим философским вопросам науки. Он стремился возродить дуалистический, двойственный взгляд на мир Рене Декарта. В мире, по мнению Джинса, есть два

самостоятельных начала — мысль и материя. Ни одно из них не является главным, определяющим, они взаимно дополняют друг друга. Как материя влияет на мысль, так и мысль контролирует материю. По Джинсу, Бог — Математик Вселенной. «Мы и

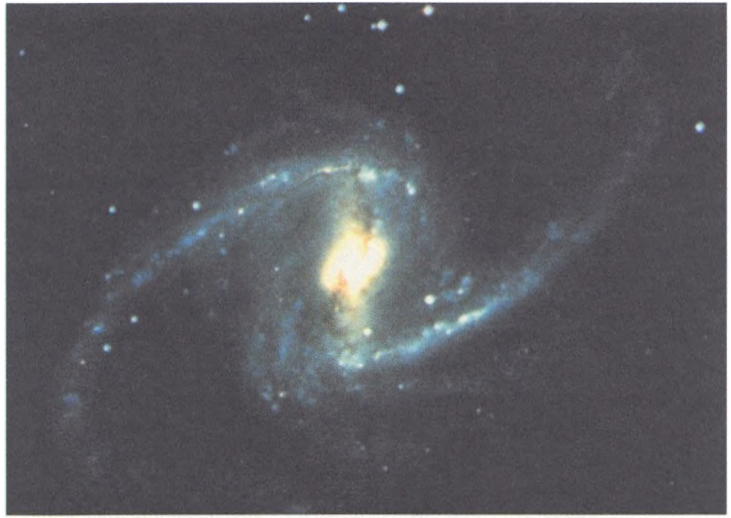


раньше относились с недоверием к мысли о том, что Вселенная была построена Биологом или Инженером, — писал Джинс в «Загадочной Вселенной», — Великий Создатель Вселенной с присущей Его творению очевидностью теперь начал выступать как чистый Математик».

С 1935 г. и до конца своих дней Джинс возглавлял кафедру астрономии Королевского института в Лондоне.

Сэр Джеймс Джинс скончался 16 сентября 1946 г. в своём имении Кливленд Лодж.

До последних дней жизни Джинс продолжал размышлять над философской и нравственной ролью астрономии в духовном мире человека. Он писал: «...сегодня многие начинают подозревать, что астрономия может сказать своё слово в волнующем вопросе об отношении человеческой жизни ко Вселенной, в которую она заключена, о началах, значении и судьбах человеческого рода...»



Человек жаждет глубже проникнуть в прошлое и в будущее, чем это позволяет его короткое бытие на Земле. Он хочет видеть Вселенную, какой она существовала прежде, чем был человек, и какой она будет после того, как последний человек уйдёт в ту тень, из которой вышел его род».

Галактика
NGC 1365.

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФРИДМАН

Новые фундаментальные идеи редко встречаются понимание у современников. Такой оказалась и судьба идей российского учёного А. А. Фридмана. Долгое время в нём видели только выдающегося математика, механика и геофизика, одного из основоположников теоретической метеорологии. Лишь спустя почти 40 лет после кончины он получил мировое признание как выдающийся космолог, создатель *теории нестационарной Вселенной*.

...

Александр Александрович Фридман родился 4 (16) июня 1888 г. в Санкт-Петербурге в семье музыкантов. Однако уже в детстве он обнаружил



Александр
Александрович
Фридман.



Петербургский университет.
Начало XX в.

неодолимую тягу к иному проявлению гармонии мира — к гармонии чисел, к математике. Окончив с золотой медалью гимназию (1906 г.), а затем Петербургский университет (1910 г.), где он стал ближайшим учеником знаменитого математика академика Владимира Андреевича Стеклова, А. А. Фридман был оставлен при кафедре для подготовки к профессорскому званию.

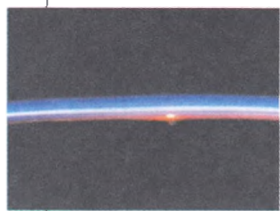
В математике Фридман, как и его учитель, прежде всего видел могучее средство изучения явлений природы. Всего в 15 лет уложилась чрезвычайно насыщенная и плодотворная научная жизнь Фридмана. Первая её половина целиком была отдана теоретической метеорологии. Вторая пришлась на эпоху научной революции в физике и вошла в историю науки как научная революция Фридмана в космологии.

В земной атмосфере Фридман видел «гигантскую лабораторию природы для иллюстрации математических решений задач гидродинамики». Своим теоретическим выводам об атмосферных вихрях и течениях он нашёл практическое применение — в аэронавигации. С началом Первой мировой войны Фридман добровольно ушёл на фронт — организовывал аэронавигационную и аэрологическую службы, в полётах с научной точностью проводил бомбометания. После войны был профессором Пермского университета, а за-

тем учебных заведений Петрограда. С 1920 г. Фридман стал сотрудником Главной физической (с 1924 г. геофизической) обсерватории, в 1925 г. был назначен её директором. В 1924 г. он совершил героический полёт на аэростате, поднявшись на высоту 7,5 км. Посмертно А. А. Фридману за работы в метеорологии были присуждены премия Главнауки Наркомпроса СССР (1925 г.) и Премия им. В. И. Ленина (1931 г.).

Но уже с начала 1920-х гг. Фридмана захватила новая теория всемирного тяготения — общая теория относительности Эйнштейна (ОТО, 1916 г.). Она ломала устоявшиеся представления в физике, утверждая новую, релятивистскую физическую картину мира, где пространство, время и материя оказывались неразрывно взаимосвязанными. Эйнштейн первым попытался в 1917 г. представить, какой в этой картине должна быть Вселенная, считая, что с общепhilosophической точки зрения она стационарна (т. е. в целом вечно и неизменна во времени). В результате решения мировых уравнений ОТО он получил её математическую модель в виде четырёхмерного цилиндра: Вселенная оказывалась пространственно конечной и безграничной (искривлённое пространство с постоянным радиусом кривизны замыкало её саму на себя). Однако для удовлетворения требования стационарности Эйнштейн вынужден был ввести в мировые уравнения искусственный «космологический член» Λ (лямбда) — постоянную величину, которая имела физический смысл силы отталкивания, — чтобы уравновесить взаимное тяготение масс во Вселенной. (Реальность и важность этой величины проявилась много позднее.)

Фридман первым рискнул отказаться от извечного постулата о стационарности Вселенной и допустил возможность изменения радиуса



Земная атмосфера. Вид с околоземной орбиты.



кривизны пространства. В качестве наиболее общих свойств Вселенной он принял ее однородность и изотропность (во Вселенной нет ни выделенных областей, ни преимущественных направлений, как это провозгласил ещё в XV в. немецкий философ Николай Кузанский). Заново проанализировав сложнейшую систему из десяти мировых уравнений, Фридман пришёл к фундаментальному выводу: их решение ни при каких условиях не может быть единственным и дать однозначный ответ на вопрос о форме Вселенной, о её конечности или бесконечности в пространстве. В итоге Фридман нашёл новые решения уравнений ОТО — в виде трёх возможных моделей нестационарной Вселенной. Каждая определялась принимаемым интервалом значений Λ и знаком кривизны пространства.

Две модели с положительным Λ описывали Вселенную с монотонно растущим радиусом кривизны: Вселенная расширялась в одном случае из точки, в другом — начиная с некоторого ненулевого объёма. Время расширения её до современного состояния Фридман условно назвал «временем, прошедшим от сотворения мира», отметив, что «это время может быть бесконечным». Третья модель представляла «периодическую» Вселенную: радиус кривизны её пространства возрастал от нуля до некоторой величины за время, которое Фридман назвал «периодом мира», а затем опять уменьшался до нуля, Вселенная вновь сжималась в «точку» и т. д. (В такой картине он видел сходство с идеями древнеиндийских философов.) Эйнштейновская модель стационарной Вселенной, как показал Фридман, представляла собой частный случай решения мировых уравнений ОТО.

Результаты были опубликованы Фридманом в 1922 г. в небольшой статье в ведущем немецком журнале

по теоретической физике. Сначала они вызвали резкую критику со стороны Эйнштейна, посчитавшего их ошибочными. Однако Фридман перепроверил расчёты и убедил великого физика в своей правоте. И уже в следующем номере того же журнала, в 1923 г., Эйнштейн не только признал, но и назвал его результаты проливающими новый свет на проблему. В 1924 г. во второй своей статье Фридман рассмотрел вопрос о возможности мира с постоянной отрицательной кривизной (мир, где сумма углов треугольника всегда меньше 180°).

В популярной книге «Мир как пространство и время» (1923 г.) Фридман первым поднял проблему происхождения мира и «возраста» нестационарной Вселенной. «Является возможность также, — писал он, — говорить о сотворении мира из ничего, но всё это пока должно рассматриваться как курьёзные факты, не могущие быть солидно подтверждёнными недостаточным астрономическим экспериментальным материалом... Если всё же начать подсчитывать для курьёза время, прошедшее от момента, когда Вселенная создавалась из точки, до теперешнего её состояния, начать определять, следовательно, время, прошедшее от создания мира, то получатся числа в десятки миллиардов наших обычных лет».



Модель изотропного расширяющегося пространства.

Туманность Калифорния (NGC 1499).





В наши дни, когда возраст наблюдаемой Вселенной от момента Большого Взрыва оценивается почти в 15 млрд лет, можно лишь изумиться столь меткому попаданию Фридмана в цель.

Дальнейшая история релятивистской космологии разворачивалась уже без Фридмана: недожив до 38 лет, недождавшись признания астрономов-космологов, для которых он был чистым математиком, учёный скончался 16 сентября 1925 г. от тифа. Его имя в космологии было надолго забыто.

Позднее (независимо от Фридмана) бельгийский астроном Жорж Леметр для объяснения открытого к тому времени эффекта красного

смещения в спектрах далёких галактик также выдвинул идею расширения Вселенной и ее начала как Большого Взрыва. Реальность и закон космологического расширения Вселенной (со скоростью, пропорциональной расстоянию галактик) были установлены Э. Хабблом (1929 г.; США).

Первым справедливую оценку идей Фридмана в свете новых успехов науки дал Эйнштейн в 1945 г. в книге «Сущность теории относительности» (русский перевод 1955 г.): «Его (Фридмана. — *Прим. ред.*) результат затем получил неожиданное подтверждение в открытом Хабблом расширении звёздной системы... Последующее представляет не что иное, как изложение идеи Фридма-

ГЕОРГИЙ АНТОНОВИЧ ГАМОВ

Георгий Антонович Гамов принадлежал к типу учёных-универсалов, «генераторов идей» и отличался особым талантом постановки и решения самых ключевых задач науки.

Человек яркий и азартный, неистощимый шутник и выдумщик, Гамов был и остаётся одним из любимейших героев «физического» фольклора — рассказы о нём передаются из поколения в поколения физиками всего мира.

Родился Гамов 4 марта 1904 г. в Одессе, в семье преподавателя словесности. Свои первые научные наблюдения Георгий сделал в детстве — отец подарил ему микроскоп и телескоп. Детское увлечение физикой стало призванием: Гамов за три года закончил Петроградский университет и вскоре отправился на стажировку в Германию, в Гёттингенский университет. Там он впервые заявил о себе как о выдающемся учёном — его доклад о туннельном эффекте в ядерных реакциях стал сенсацией. Идея Гамова о преодолении α -частицей барьера энергии, невозможного в классической физике, но возможного в квантовой, объяснила механизм этих реакций. Молодой учёный получил приглашения работать с крупнейшими физиками того времени: сначала с Нильсом Бором, затем с Робертом Резерфордом. В 25 лет он уже признан одним из крупнейших специалистов в области тео-



Г. А. Гамов

ретической ядерной физики. Он побывал в научных центрах разных стран, выступал на конференциях, участвовал в исследованиях советских учёных в области ядерной физики.

Но в 1931 г. свободная научная деятельность Георгия Гамова впервые натолкнулась на поставленную государством преграду: ему не разрешено выехать в Рим для участия в международном научном конгрессе. Для учёного «римское фиаско», как он позднее назвал его, стало поворотным моментом в судьбе. У разных людей разный «порог чувствительности» к



на. ...Не вызывает поэтому никаких сомнений, что это наиболее общая схема, дающая решение космологической проблемы».

После открытия реликтового радиоизлучения — отголоска Большого Взрыва — теория нестационарной Вселенной Фридмана — Леметра вошла в разряд устоявшихся научных знаний.

В заключение надо отметить, что в моделировании Вселенной в свое время были правы и Эйнштейн, и Фридман. Первый из них имел в виду Вселенную как всю мыслимую материю. Фридман же подчёркивал, что вся релятивистская теория может относиться лишь к наблюдаемой «вселенной астронома», отделяя это понятие от более широкого — «все-

АЛЬФА, БЕТА, ГАММА...

Как-то раз, готовя работу к публикации, Гамов, который не мог упустить случая пошутить, заметил, что фамилии её авторов — его и Альфера — напоминают названия первой и третьей букв греческого алфавита — «альфа» и «гамма». Не хватало только «беты», и Гамов вспомнил о своём приятеле из Корнуолла по фамилии Бете. Гамов включил его в список авторов, и теорию впоследствии так и стали называть: «альфа — бета — гамма». Бете вроде бы ничего не имел против и даже помогал обсуждать теорию, но, когда впоследствии выяснилось, что она всё-таки неверна, Гамов уверял, что до него дошли слухи, будто Бете собирается сменить фамилию. По словам Гамова, он просил своего сотрудника Германа, также работавшего над этой теорией, сменить фамилию на Дельтер, чтобы ряд был полным, но тот «с тупым упрямством отказывался», как сокрушался Гамов.

По книге Барри Паркера «Мечты Эйнштейна»

ограничению свободы. Для Гамова этого было достаточно: работа без возможности общаться с мировым научным сообществом его не устраивала. В 1932 г. он выехал вместе с женой на международный конгресс в Брюссель и больше на родину не вернулся, обосновавшись в США. Естественно, в Советском Союзе сразу сделано было всё возможное, чтобы вычеркнуть само имя учёного из истории отечественной физики. До середины 1960-х гг. были запрещены даже ссылки на его работы, о публикациях вплоть до последних лет не могло быть и речи. Восстановили его в составе отечественной Академии наук только в 1990 г. — посмертно.

С именем Гамова связана одна из самых ярких и грандиозных астрофизических теорий — концепция Большого Взрыва, или теория горячей Вселенной. Он был первым, кому удалось соединить космологию с физикой микромира. Поражающая воображение картина взрывающейся, разлетающейся Вселенной, где в раскалённом котле ядерных реакций рождаются химические элементы, сначала казалась дерзкой, затем — убедительной, а сегодня она стала хрестоматийной.

Гамов обладал особым чутьём на переломные моменты в науке. После физики его внимание приковала генетика, которая стояла в тот момент на пороге совершенно нового уровня развития. От одной величайшей тайны — рождения Вселенной — Гамов

перешёл к другой — тайне Жизни. Его талант точно ставить самые важные вопросы позволил учёному сформулировать ключевую задачу: расшифровать «тайнопись» Жизни — генетический код. Новые исследования генетиков блестяще подтвердили его идеи — это был третий «Большой Взрыв» в науке, которым она обязана Гамову.

И. С. Шкловский однажды сказал о Гамове: «Я считаю Г. А. Гамова, пожалуй, крупнейшим русским физиком XX века. В конце концов, от учёного остаются только конкретные результаты его труда. Применяя футбольную аналогию, имеют реальное значение не изящные финты и дриблинг, а забитые голы. В этом сказывается жестокость науки. Гамов обессмертил своё имя тремя выдающимися «голами»: 1) теорией α -распада, более обще — «подбарьерными» процессами (1928 г.); 2) теорией «горячей Вселенной» и, как следствие её, — предсказанием реликтового излучения (1948 г.), обнаружение которого в 1965 г. ознаменовало собой новый этап в космологии; 3) открытием феномена генетического кода (1953 г.) — фундамента современной биологии. Конечно, Гамов — невозвращенец, и это нехорошо. Но можем ли мы представить музыкальную культуру России XX века без имён Шаляпина и Рахманинова?».

По книге В. Френкеля и А. Чернина «От альфа-распада до Большого Взрыва». 1990 г.



ленной философа». И действительно, дальнейшее развитие космологии показало, что теория нестационарной Вселенной (которая до конца XX в. рассматривалась как единственно существующая — Universe) описывает свойства только нашей

Вселенной — Метагалактики. Последняя является всего лишь ничтожной «каплей» общего, качественно несравненно более богатого материального мира, за которым в наши дни укрепилось наименование Multiverse (Многоликая Вселенная).

ЭДВИН ПАУЭЛЛ ХАББЛ

«Астрономия подобна пасторскому служению, — сказал как-то Хаббл, — нужен зов. После года юридической практики в Луисвилле я зов услышал. Ради астрономии я отбросил право. Я знал, окажись я даже посредствен-

ным или плохим служителем, всё равно это была бы астрономия...»

Эдвин Пауэлл Хаббл родился в Менсфилде, штат Миссури, США, 20 ноября 1889 г. в семье преуспевающего владельца страхового агентства.

ИОСИФ САМУИЛОВИЧ ШКЛОВСКИЙ

Иосиф Самуилович Шкловский родился 1 июля 1916 г. в небольшом украинском городке Глухове. Мальчиком он очень любил рисовать: «...в детстве я был чрезвычайно далёк от всякого рода техники, испытывая к ней только чувство тоскливого отращения. По призванию автор этих строк — художник. Я стал рисовать с помощью „подручных средств“ — мела, кусочков битого кирпича (других изобразительных средств у меня не было — времена были суровые и нищета была полная) с трёх лет. С тех пор я рисовал почти всюду и везде. Вплоть до окончания физического факультета Московского университета в 1938 г. я ещё колебался в выборе жизненного призвания». С 1938 г. вся дальнейшая жизнь Шкловского была связана с Государственным астрономическим институтом имени П. К. Штернберга.

Одним из первых в нашей стране он начал заниматься радиоастрономией, исследовал механизмы радиоизлучения Солнца и Галактики.

В послевоенные годы главной темой научных изысканий Шкловского была природа солнечной короны. Согласно его теории, она разогрета до миллиона градусов, что в 200 раз выше температуры видимой поверхности Солнца (6000 К).

Ещё в 1945 г. нидерландский астроном Хендрик ван де Хюлст предсказал, что возможно наблюдать радиоизлучение атомарного водорода на



И. С. Шкловский

длине волны 21 см. В 1948 г. Шкловский вычислил интенсивность этой предполагаемой радиолинии. На основании его вычислений в 1951 г. линия была найдена в спектре излучения и поглощения межзвёздного нейтрального газа в Галактике. И сегодня межзвёздный газ изучают в основном по радиолинии 21 см. Такие исследования позволяют выявить структуру как нашей, так и других галактик.

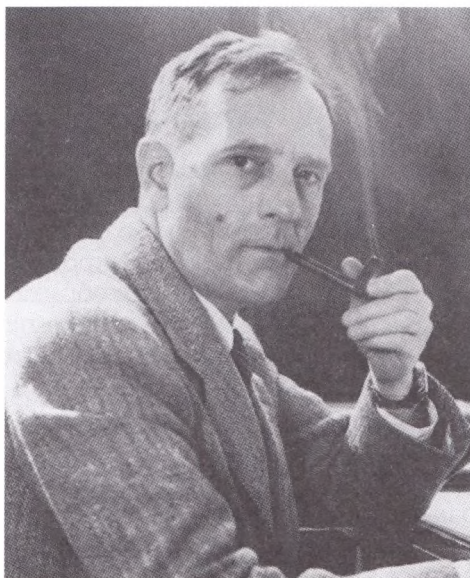
В 1953 г. Шкловский решил ещё одну задачу фундаментального значения. Он объяснил спектр свечения остатка сверхновой 1054 г. в Крабовидной туманности излучением энергичных элект-



Хотя в доме было много прислуги, детей приучали к труду. Ярче всего Эдвину запомнилась работа в партии геодезистов, которая прокладывала маршрут железной дороги в лесах вокруг Великих озёр.

Семья Хаббл была религиозной и культурной. По вечерам часто устраивались домашние концерты — все в семье хорошо играли на разных инструментах.

Эдвин много читал, увлекался фантастическими романами Жюль Верна. Он рано заинтересовался астрономией, не без влияния дедушки Уильяма Гендерсона Джеймса, отца матери. В построенный дедом телескоп восьмилетний Эдвин подолгу смотрел на небо.



Эдвин Пауэлл Хаббл.

ронов, движущихся почти со скоростью света в слабом магнитном поле (этот механизм излучения называется синхротронным). Такое объяснение дало возможность описать одной формулой весь спектр синхротронного излучения от рентгеновского и до радиодиапазона.

Шкловский первым понял, что планетарные туманности и белые карлики являются результатом эволюции звёзд с массой, близкой к массе Солнца: когда весь водород в звезде превращается в гелий, от неё отделяется оболочка (планетарная туманность), а ядро сжимается в очень плотную звезду размером в несколько тысяч километров.

Круг исследований Шкловского был очень широк. Он автор работ по свечению ночного неба, полярным сияниям, радиационным поясам Земли. Ему принадлежат новые идеи в изучении активных ядер галактик, квазаров, радио- и рентгеновских пульсаров. Одним из первых он оценил возможности космической техники для астрономии, несколько лет проработал в Институте космических исследований.

За внушительным перечнем научных открытий и заслуг может исчезнуть живой человек. А Шкловский был живым, даже «слишком» живым: «слишком» талантливым, «слишком» остроумным, «слишком» независимым и не признающим авторитетов. По отзыву одного из коллег, его острое слово создавало ему немало врагов. Не случайно он писал

о себе: «Спасаясь от убогой реальности, я жадно увлёкся наукой. Мне очень повезло, что начало моей научной карьеры почти точно совпало с наступлением эпохи „бури и натиска“ в науке о небе. Пришла „вторая революция“ в астрономии, и я это понял всем своим существом. Вот где мне помогли детские мечты о дальних странах! Довольно часто я чувствовал себя таким Пигафеттой и Орельяной, прокладывающим путь в неведомой, таинственно-прекрасной стране».

Многие годы Шкловский читал лекции на астрономическом отделении физического факультета МГУ, это был блестящий педагог. Среди его учеников — два академика и один член-корреспондент Российской академии наук, десятки докторов наук и профессоров, работающих во всех обсерваториях России и стран СНГ. Вышедшие из-под его пера научно-популярные книги — «Вселенная. Жизнь. Разум», «Звёзды: их рождение, жизнь и смерть», «Радиоастрономия. Популярный очерк», «Эшелон» — принесли ему мировую славу.

Шкловский был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР, членом Лондонского королевского астрономического общества, Национальной академии наук США и многих других научных обществ. Умер он в 1985 г., не дожив и до 70 лет. На надгробии Шкловского на Востряковском кладбище в Москве высечена короткая надпись: «Астроном».



В 1906 г. Эдвин Хаббл окончил среднюю школу и, получив стипендию, 16-летним юношей поступил в Чикагский университет. Он изучал астрономию, математику и физику. Эдвин был физически развитым юношей и ему даже предлагали карьеру профессионального боксёра.

Получив стипендию для продолжения образования в Великобритании осенью 1910 г., Хаббл, однако, не стал специализироваться в области астрономии, а решил изучать в Оксфордском университете международное право.

После присвоения ему степени бакалавра права Хаббл летом 1913 г. вернулся домой в Америку. Но его влечёт к занятиям астрономией, а не юриспруденцией. И Хаббл переезжает в Чикаго, где поступает на работу на Йеркскую обсерваторию. Она была создана благодаря пожертвованиям чикагского трамвайного магната Чарлза Йеркса, пожелавшего увековечить своё имя. Его жизнь описана Теодором Драйзером в ро-

мане «Финансист». Обсерватория, носящая его имя, была оснащена лучшими по тем временам инструментами. На ней был установлен 40-дюймовый (100-сантиметровый) телескоп — последний величайший рефрактор в мире, а также 24-дюймовый (60-сантиметровый) телескоп-рефлектор.

Первая научная работа Хаббла была посвящена собственным движениям звёзд. Его докторская диссертация называлась «Фотографические исследования слабых туманностей». Хотя тогда и было уже открыто около 20 тыс. туманностей, природа их оставалась неизвестной. Хаббл открыл 512 новых туманностей на крупномасштабных фотографиях неба. Его научные исследования прервала Первая мировая война. Хаббл к тому времени получил приглашение от директора обсерватории Маунт-Вилсон Джорджа Эллери Хейла перейти к нему на работу, чтобы начать наблюдения на новом, самом большом тогда в мире 100-дюймовом рефлекторе. К удивлению Хейла, он получил от Хаббла телеграмму: «С сожалением не могу принять Ваше предложение. Ухожу на войну».

Так и не успев принять участие в боевых действиях, после войны Хаббл вернулся в Америку в чине майора. Демобилизовавшись, он приехал в Пасадену, принял предложение Хейла и приступил к работе в обсерватории Маунт-Вилсон. Он был зачислен в группу фотографирования туманностей, что соответствовало его научным интересам. Хаббл много наблюдал, но работ публиковал мало. В работе 1922 г. «Общее исследование диффузных галактических туманностей» он разделил все туманности на два типа: галактические, связанные с Млечным Путём, и внегалактические, видимые в основном в стороне от него.

В начале 1920-х гг. Хаббл рассмотрел механизмы свечения диффузных

Хаббл
у 48-дюймовой
камеры Шмидта
обсерватории
Маунт-Паломар.





и планетарных галактических туманностей. Он доказал, что диффузные туманности светят отражённым светом близлежащих горячих звёзд, а свечение планетарных туманностей сродни флуоресценции: от центральной звезды исходит интенсивное ультрафиолетовое излучение, которое затем переизлучается туманностью в видимом диапазоне спектра. Хаббл нашёл также зависимость между яркостью отражательных туманностей и блеском освещающих их звёзд.

Особый интерес Хаббл проявил к знаменитой туманности Андромеды (M 31). Он получил ряд её фотографий на 60- и 100-дюймовых рефлекторах. На пластинке, снятой 4 октября 1923 г. на крупнейшем рефлекторе, внутри туманности обнаружены вспышки двух новых звёзд и одна слабая переменная звезда. Эту переменную Хаббл нашёл ещё на нескольких десятках негативов, полученных начиная с осени 1909 г. После дальнейших наблюдений и сравнения их с более ранними стало ясно, что Хаббл открыл в туманности Андромеды типичную цефеиду. Астрономам хорошо известно, как по видимому блеску определить расстояние до цефеиды. Но если она входит в состав туманности Андромеды, то становится возможным определить расстояние и до этой туманности. Хаббл оценил её удалённость в 1 млн световых лет (по современным данным, около 2 млн световых лет).

Поскольку это расстояние намного превышает размеры нашей Галактики, окончательно было доказано, что спиральные туманности являются самостоятельными звёздными системами, расположенными на огромных расстояниях от Галактики и похожими на неё. Концепция островных вселенных получила блестящее подтверждение.

Впервые результаты Хаббла были доложены 1 января 1925 г. на заседании Американского астрономического общества. За это исследование он получил премию Ассоциации развития науки, и его имя впервые появилось в справочнике «Кто есть кто в Америке» за 1924—1925 гг.

Хаббл продолжил исследования галактик. Он изучал их состав, структуру и вращение, их распределение в пространстве и движения. Им была предложена первая научная классификация галактик по их формам, которая легла в основу современной классификации. Все внегалактические туманности Хаббл подразделил на три типа: эллиптические — E, спиральные — S и irregулярные, неправильные, — Irr.

В ближайших галактиках Хаббл открыл новые звёзды, цефеиды, шаровые скопления, газовые туманности, красные и голубые сверхгиганты.

Галактика
NGC 3031.

Галактика
Сомбреро.
Снимок
в искусственных
цветах.





Он установил шкалу внегалактических расстояний. Хаббл разработал методику оценки расстояний до самых далёких из них по их яркости.

Работы Хаббла получили высокую оценку в научных кругах. В 1927 г. он был избран в Национальную академию наук США, а Королевское астрономическое общество Великобритании избрало его своим действительным членом.

Хаббла интересовал вопрос об общем строении нашего мира — Вселенной. Ещё в своей статье «Внегалактические туманности» в 1926 г. он рассматривал как возможную релятивистскую модель (от *лат. relativus* — «относительный») расширяющейся Вселенной голландского астронома Виллема де Ситтера. Но, не очень доверяя теоретикам и теории, Хаббл полагал, что только наблюдения могут привести к пониманию истинной природы вещей. В моделях расширяющейся Вселенной скорость взаимного удаления галактик должна быть прямо пропорциональна расстоянию между ними. Он считал необходимым с помощью наблюдений убедиться в том, что у галактик с ростом расстояний растут и лучевые скорости. Хаббл составил список наиболее слабых галактик, которые, естественно, расценивались как наиболее далёкие, и измерил их лучевые скорости. Для одной очень далёкой галактики (NGC 7616) он получил по смещениям спектральных линий в красную сторону лучевую скорость 3779 км/с. Это огромное значение сказало Хабблу о многом.

В марте 1929 г. в очередном номере «Трудов Национальной академии наук США» была опубликована статья Хаббла «Связь между расстоянием и лучевой скоростью внегалактических туманностей». Он накопил сведения о лучевых скоростях и удалённости 46 туманностей. На основе сопоставления наблюдательных данных учёный пришёл к выводу: «Далёкие

галактики уходят от нас со скоростью, пропорциональной удалённости от нас. Чем дальше галактика, тем больше её скорость».

$$v = H_0 r.$$

Коэффициент пропорциональности H_0 в этом законе Хаббла, где v — скорость и r — расстояние, был назван *постоянной Хаббла*. Он оценил её значение в 500 км/(с · Мпк); по современным оценкам, $H_0 = 75$ км/(с · Мпк). Это значит, что галактики, удалённые на 1 млн парсек (3,26 млн световых лет), «убегают» от нас со средней скоростью 75 км/с, а те, что в 100 раз дальше, разлетаются в 100 раз быстрее.

Открытие Хаббла легло в основу концепции расширяющейся Вселенной. Его имя в истории науки встало в один ряд с именем Николая Коперника. Оба они совершили революционные перевороты в наших представлениях о Вселенной.

В начале 1930-х гг. к Хабблу приходит мировая слава. В конце 1930 г. его лекцию слушает Альберт Эйнштейн и даёт ей высокую оценку. Весной 1934 г. Хаббл читает в Оксфорде Галлеевскую лекцию и получает степень почётного доктора наук Оксфордского университета. На основе курса лекций в Йельском университете Хаббл написал книгу «Мир туманностей», которая вышла в 1935 г. Осенью 1936 г. он читает три лекции в Оксфорде под названием «Наблюдательный подход к космологии». Под тем же названием в 1937 г. выходит вторая его книга. В 1940 г. он получил золотую медаль Королевского астрономического общества.

Несмотря на высокое положение в американской и мировой науке, Хаббл не стремился к занятию каких-либо почётных или административных должностей. Известный астрофизик Алан Сэндидж вспоминал: «Он всю свою работу делал сам. У него никогда не было ассистентов



вплоть до самого конца, когда он перенёс болезнь. Он работал очень много, и вся его жизнь была посвящена работе».

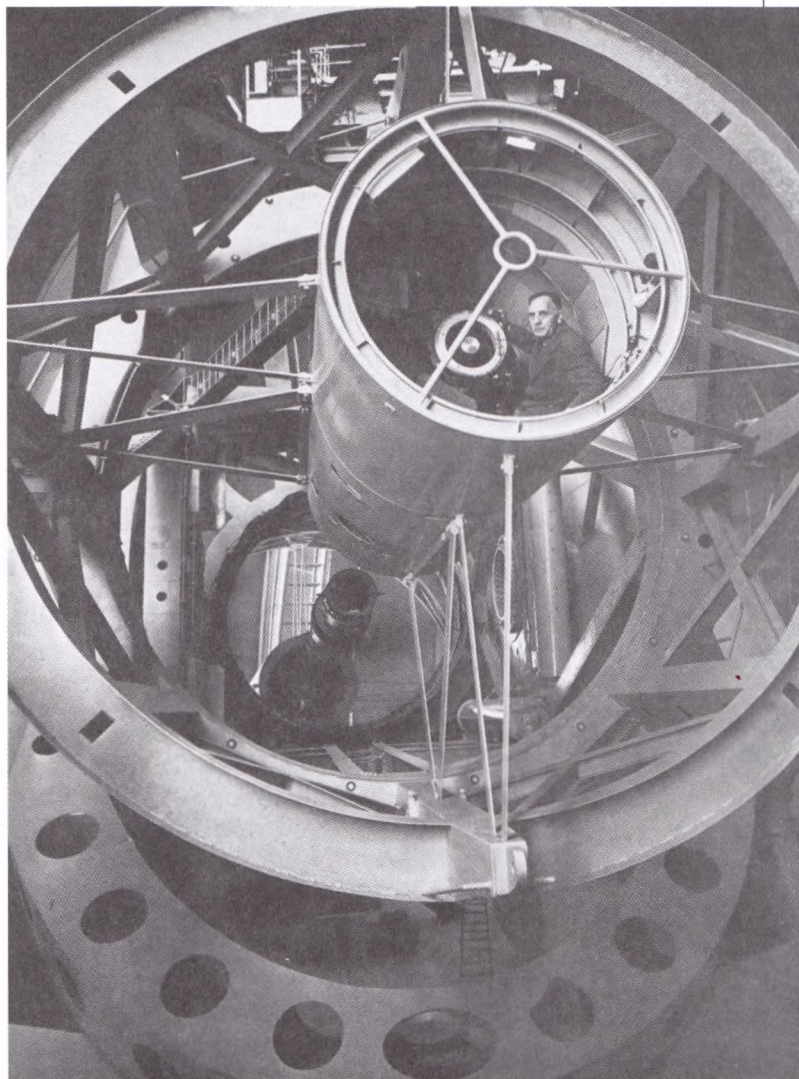
В личной жизни Хаббл не был таким замкнутым, как в работе. Среди его друзей были и английский писатель Олдос Хаксли, и великий русский композитор Игорь Стравинский, и знаменитости из Голливуда, в том числе Уолт Дисней.

Когда началась Вторая мировая война, Хаббл возглавил Южно-Калифорнийский объединённый комитет борьбы за свободу, а в октябре 1940 г. выступил с призывом о немедленной помощи Великобритании. В заключение своего призыва он сказал: «Мы все желаем мира. Но он должен быть миром с честью. Мир любой ценой — это религия рабов... Если есть урок, которому научила нас история, так это тот, что сильные люди могут решать свою собственную судьбу».

И конечно, Хаббл не ограничивался только патриотическими речами. В армию его не взяли, но в Управлении армейской артиллерии его пригласили в исследовательский центр на Абердинском полигоне.

Американские «летающие крепости», отбомбившись, совершали посадки на аэродромах России. На обратном пути они бомбили союзников Германии Румынию и Венгрию советскими бомбами. Хаббл вспоминал: «Настоящим подвигом было создание таблиц бомбометания для русских бомб, о которых не было никаких аэродинамических данных, кроме качественного описания и формы. Эти таблицы использовались на наших бомбардировщиках, когда они ложились на обратный курс после приземления на русской территории».

Эта работа Хаббла была высоко оценена правительством США. Он был награждён в 1946 г. медалью «За заслуги». Такую же медаль получи-



ли учёные, руководившие в Америке созданием атомного оружия.

В новых условиях Хаббл понял, что человеческая цивилизация не сможет пережить ещё одну мировую войну. В 1946 г. он выступил в Лос-Анджелесе с речью «Война, которая не должна случиться». Хаббл, в частности, сказал: «Даже если это против наших желаний, чтобы выжить, мы вынуждены сотрудничать друг с другом. Война или самоуничтожение — эти понятия мы должны считать синонимами...» Он считал, что человечество выживет, только

Хаббл в кабине главного фокуса 200-дюймового телескопа обсерватории Маунт-Паломар.



если создаст мировое правительство с сильной международной полицией.

И после войны главным для Хаббла, конечно, осталась научная работа, в которую он сразу же включился, вернувшись в обсерваторию. Он планировал подготовить «Атлас галактик». Но закончить эту работу он не успел. Не удалось ему провести и широкую программу наблюдений на новом 200-дюймовом (5-метровом) телескопе-рефлекторе в обсерватории Маунт-Паломар. Этот телескоп вступил в строй 26 января 1949 г. Первый негатив на новом телескопе был получен Хабблом. Но

уже в июле он слёг с тяжёлым инфарктом. Могучий организм учёного, казалось, справился с недугом. Он вновь приступил к наблюдениям. Вместе с Сэндиджем он обнаружил новый, неизвестный ранее науке тип переменных звёзд, так называемые объекты Хаббла — Сэндиджа. Авторы направили статью в печать в конце июня 1953 г., а вышла она в ноябре, когда Эдвина Хаббла уже не было в живых. Он скоропостижно скончался 28 сентября 1953 г.

Алан Сэндидж так вспоминал о Хаббле: «Абсолютная сила духа, моральная стойкость, никаких безрассудств, дворянин по облику».

ВСТУПАЯ В XXI ВЕК

Лидирующей ветвью астрономии в последние десятилетия, безусловно, была астрофизика, изучающая фундаментальные физические процессы в космических телах, рассматривая их как лабораторию с необычными физическими условиями. Прежде всего это касается экстремально высоких и низких плотностей вещества, мощных гравитационных и магнитных полей, околосветовых скоростей и гигантских энер-

гий взаимодействующих частиц. Астрофизика доказала универсальность физических законов для всех уголков Вселенной и существенно расширила рамки лабораторной физики. Ведь только в межзвёздном пространстве встречается газ с плотностью в миллиарды миллиардов раз меньшей, чем у комнатного воздуха. И только изучая нейтронные звёзды, можно узнать свойства вещества в тысячи миллиардов раз более плотного, чем свинец. Астрофизика вывела земную физику на новые рубежи.

Но в последние годы по числу открытий с астрофизикой начинают соперничать традиционные ветви астрономии. Множество неожиданных находок сделано исследователями Солнечной системы, обнаружены планеты у соседних звёзд. Даже в такой древней науке, как астрометрия, с появлением орбитальных обсерваторий начался стремительный прогресс.

Компьютеры изменили лицо астрономии. Астрономы, совершенно

Управлять телескопом современным любителям помогают компьютеры.





лишённые возможности экспериментировать со своими объектами, теперь ставят численные эксперименты; в недрах компьютеров «взрываются сверхновые звёзды и сталкиваются галактики».

Астрономические наблюдения сегодня невозможно представить без компьютера, управляющего телескопом и приёмной аппаратурой, хранящего результаты наблюдений и обрабатывающего их; теперь так работают не только профессионалы, но и многие любители.

Компьютерные сети позволили практически всем желающим включиться в научную работу: сейчас можно получать результаты наблюдений с любой обсерватории мира — наземной или космической — и самостоятельно обрабатывать их. Можно, не выходя из дома, проводить наблюдения на специальных автоматизированных телескопах, которых становится всё больше.

Электронная связь сделала реальностью давнюю мечту астрономов, превратив их всех, профессионалов и любителей, в единый всемирный коллектив исследователей Вселенной.

ВАЖНЕЙШИЕ ОТКРЫТИЯ В АСТРОНОМИИ XX ВЕКА

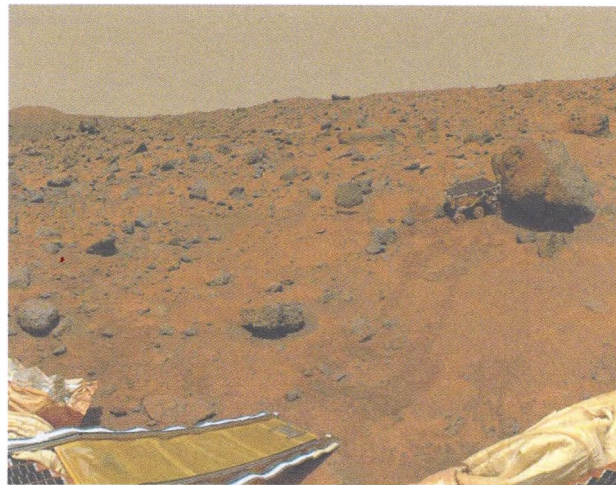
В планетной астрономии:

- построена релятивистская теория движения планет, позволяющая вычислять их положения на многие тысячелетия вперёд и назад;

- в общих чертах исследована природа всех планет, а поверхности Луны, Венеры и Марса подвергнуты прямому изучению;

- перестали быть таинственными астероиды и ядра комет, созданы предпосылки их прямого зондирования;

- открыты планетные системы у других звёзд.



Однако пока:

- нет решения многих частных проблем космогонии: как сформировалась наша Луна, как образовались кольца вокруг планет-гигантов, почему Венера вращается очень медленно и в обратном направлении?

- нет решения главной проблемы: как возникла Солнечная система?

В звёздной астрономии:

- создана теория внутреннего строения звёзд; найдены методы изучения звёздных недр по вибрациям наружных слоёв звезды (гелиосейсмология) и путём регистрации нейтрино, рождающихся в ходе термоядерных реакций;

Марсоход в песках Красной планеты. Миссия «Марс-Пасфайндер».

Нейтринный телескоп на дне шахты.





Скопление галактик.



— в общих чертах построена картина происхождения и эволюции звёзд;

— обнаружены взаимные превращения разных сортов нейтрино и доказано, что полный поток нейтрино от Солнца соответствует теоретическому прогнозу, значит, астрофизическая модель Солнца верна;

— обнаружены и изучены остатки звёздной эволюции — белые карлики и теоретически предсказанные нейтронные звёзды.

Однако пока:

— нет детальной физической теории некоторых проявлений звёздной активности. Например, не до конца ясны причины взрыва сверхновых звёзд; не совсем понятно, почему из окрестностей некоторых звёзд выбрасываются узкие струи газа.

Группа наблюдателей со школьным телескопом и их руководитель В. В. Мартыненко.



В галактической и внегалактической астрономии:

— в общих чертах выяснено строение Галактики и её основных наблюдаемых компонентов;

— изучено строение ядра Галактики, скрытого от нас огромной толщей межзвёздного газа и пыли;

— найдены методы измерения расстояний вплоть до самых удалённых объектов Вселенной;

— изучено строение основных типов галактик и их скоплений;

— обнаружено, что скопления галактик распределены не хаотически, а образуют ещё более крупномасштабную ячеистую структуру Вселенной.

Однако пока:

— не решена проблема скрытой массы, состоящая в том, что гравитационное поле галактик и скоплений галактик в несколько раз сильнее, чем это может обеспечить наблюдаемое вещество. Вероятно, большая часть вещества Вселенной до сих пор скрыта от астрономов;

— нет единой теории формирования галактик;

— не решены основные проблемы космологии: нет законченной физической теории рождения Вселенной и не ясна её судьба в будущем;

— совершенно загадочной остаётся причина ускоренного расширения Вселенной (проблема тёмной материи).

Таковы итоги астрономии XX века.

А ЧТО ДАЛЬШЕ?

Вот некоторые вопросы, на которые астрономы надеются получить ответы после 2010 года.

— Существуют ли у ближайших звёзд планеты земного типа и есть ли у них биосферы (есть ли на них жизнь)?

— Какие процессы способствуют началу формирования звёзд?



— Являются ли чёрные дыры источником энергии активных галактик и квазаров?

— Когда и как сформировались галактики?

— Будет ли Вселенная расширяться вечно, ускорится ли её расширение в будущем или сменится коллапсом?

Но вполне возможно, что основное внимание астрономов нового поколения будут привлекать не эти проблемы. В наши дни первые робкие шаги делают нейтринная и гравитационно-волновая астрономия. Вероятно, через пару десятков лет именно они откроют перед нами новое лицо Вселенной.

Одна особенность астрономии остаётся неизменной, несмотря на её бурное развитие. Предмет её интереса — звёздное небо, доступное для любования и изучения с любого места на Земле. Небо одно для всех, и каждый при желании может его изучать. Даже сейчас, в начале XXI в., астрономы-любители вносят заметный вклад в некоторые разделы наблюдательной астрономии. И это приносит не только пользу науке, но и огромную, ни с чем не сравнимую радость им самим.

ВМЕСТО ПОСЛЕСЛОВИЯ

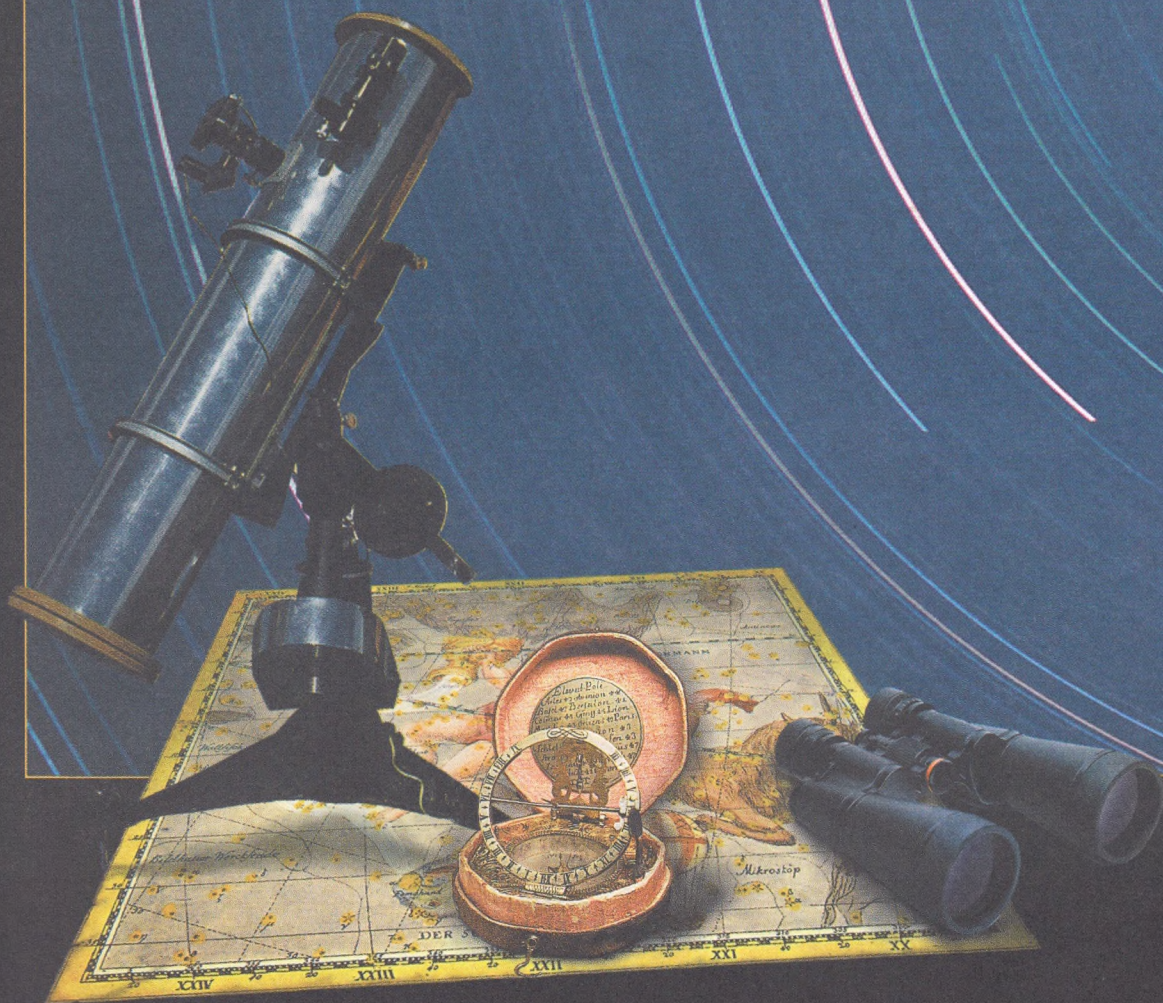
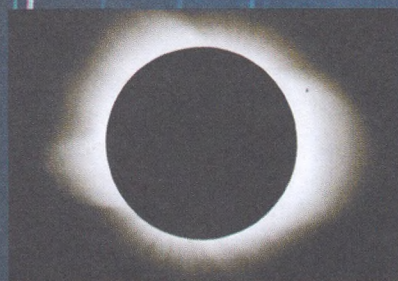
Поскольку речь идёт о пространстве, изучение астрономии ведёт в лучшем случае к познанию подавляющей обширности мира. Поскольку речь идёт о времени, оно превращается в поучение почти беспредельной возможности и надежды. Как обитатели Земли, мы живём в самом начале времён: мы вступаем в бытие в свежих красотах рассвета, и перед нами расстилается день невообразимой длины с его возможностями почти неограниченных достижений.

В далёком будущем наши потомки, взирая с другого конца на эту длинную перспективу времён, будут считать наши века за туманное утро истории мира; наши современники будут казаться им героическими личностями, которые сквозь дебри невежества, ошибок и предрассудков пробивали себе путь к познанию истины, к умению подчинить себе силы природы, к построению мира, достойного того, чтобы человечество могло в нём жить. Мы окутаны ещё слишком густым предрассветным туманом, чтобы могли даже смутно представить себе, каким является мир для тех, кому суждено увидеть его в полном сиянии дня. Но и в том свете, который мы видим теперь, мы различаем, что и астрономия в её основе несёт с собой надежду для человеческого рода в целом и познание ответственности для каждой отдельной личности, — ответственности, так как мы создаём планы и строим основания для будущего, гораздо более продолжительного, чем нам было бы легко представить себе теперь.

*По книге Джеймса Джинса
«Вселенная вокруг нас». 1929 г.*



ЗВЁЗДНОЕ НЕБО НАД НАМИ







НАЧАЛА НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ НАУКИ

ЗВЁЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Первое, что замечает наблюдатель, — это различие звёзд по цвету и блеску.

Всем известно, что одни звёзды выглядят ярче других. Во II в. до н. э. древнегреческий астроном Гиппарх составил каталог звёзд, видимых невооружённым глазом (ибо « воору-

жить» свой глаз ему в то время было нечем). В этом каталоге он впервые разделил все звёзды по кажущейся яркости на шесть классов: самые яркие он назвал звёздами 1-й величины, а самые слабые — 6-й. Астрономы используют это деление вот уже более двух тысячелетий.

Когда появились телескопы и приборы для точного измерения яркости звёзд (фотометры), астрономы установили, что при переходе от класса к классу поток света от звёзд (или, как говорят астрономы, блеск звёзд) изменяется примерно в 2,5 раза. Звезда 1-й звёздной величины в 2,5 раза ярче звезды 2-й величины, а та в свою очередь в 2,5 раза ярче звезды 3-й величины. Следова-





но, звезда 1-й величины в $2,5 \cdot 2,5 = 6,25$ раза ярче звезды 3-й величины. Но, разумеется, эти соотношения в каталоге Гиппарха выдерживались не вполне чётко, ведь у него-то фотометра не было.

Астрономы хотели сохранить шкалу Гиппарха, поскольку уже привыкли к ней, но решили сделать её более точной и удобной. В 1856 г. англичанин Норман Погсон измерил блеск множества звёзд и ввёл современную шкалу звёздных величин. Он предложил считать разницу блеска равной пяти звёздным величинам, если одна звезда ровно в 100 раз ярче другой. В таком случае разница на одну звёздную величину соответствует отличию блеска в $\sqrt[5]{100} \approx 2,512$ раза (почти как у Гиппарха).

За начало отсчёта на шкале звёздных величин астрономы приняли Вегу, блеск которой приравняли к нулевой звёздной величине. Обозначается это так: 0^m (индекс m происходит от *лат.* *stellar magnitude* — «звёздная величина»).

Звёзды в Ковше Большой Медведицы, например, имеют блеск около 2^m , т. е. они в $2,512 \cdot 2,512 \approx 6,3$ раза слабее Веги. На тёмном загородном небе при нормальном зрении глаз различает звёзды до 6^m . С помощью крупных телескопов можно фотографировать звёзды до 26^m . Следовательно, глаз человека уступает телескопу в чувствительности на 20^m . Это можно представить как $5^m + 5^m + 5^m + 5^m$. Отсюда легко перейти к разнице блеска: телескоп с фотопластинкой в $100 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 = 100$ млн раз чувствительнее глаза. А если заменить фотопластинку электронным приёмником света, например полупроводниковой ПЗС-матрицей, то разница станет ещё больше — почти в миллиард раз!

У всех небесных светил, менее ярких, чем Вега, звёздные величины выражаются положительными числами. А как быть с более яркими све-



тилами? Скажем, Сириус и Канопус заметно ярче Веги, а есть ещё и яркие планеты, и, наконец, Луна и Солнце. В таких случаях в полном соответствии с правилами математики блеск выражают отрицательным числом. Если блеск звезды равен -1^m , то она в 2,512 раза ярче Веги. Блеск Сириуса $-1,5^m$, т. е. он в $2,512^{1,5} \approx 4$ раза ярче Веги. Блеск Юпитера иногда достигает $-2,5^m$, а блеск Венеры в максимуме $-4,7^m$.

Нетрудно заметить, что в то время как звёздные величины убывают в арифметической прогрессии (6; 5; 4; 3 и т. д.), блеск звёзд возрастает в геометрической прогрессии (1; 2,512...; 6,310...; 15,851... и т. д.). Поэтому разница блеска в звёздных величинах меняется как логарифм потока света от звезды. В связи с этим шкалу звёздных величин называют логарифмической шкалой.

Если потоки света от двух светил у поверхности Земли составляют I_1 и I_2 , то разность их звёздных величин равняется

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2}.$$

Существуют и другие подобные шкалы. Так, громкость звука измеряют в децибеллах, которые также пропорциональны логарифму мощности звука, воздействующего на ухо. Употребление логарифмических шкал продиктовано особенностями наших органов чувств: зрения, слуха

Сириус — самая яркая звезда неба ($-1,5^m$).



и др. Оказывается, человеческий мозг воспринимает раздражения от органов чувств не пропорционально силе раздражителя (например, мощности звука), а лишь пропорционально её логарифму. Именно поэтому ухо

одинаково способно услышать писк комара и не оглохнуть от рёва самолёта в аэропорту. А глаз может заметить блеск звезды и не ослепнуть от прямого взгляда на Солнце, которое в миллиарды раз ярче звёзд.

АДРЕСА СВЕТИЛ НА НЕБЕ

Как точно описать положение светила на небе? Куда направить взгляд или телескоп, чтобы увидеть то, что интересует наблюдателя?

Лучше всего задать положение числами. Математики давно применяют этот способ, известный как метод координат. Допустим, нужно описать положение точки на плоскости. Выберем на этой же плоскости две пересекающиеся (лучше всего под прямым углом) прямые и примем определённый отрезок за единицу длины. Данные прямые называются *координатными осями*, а точка их пересечения — *началом координат*. Теперь проведём через нашу точку две прямые, параллельные координатным осям. Каждая из них пересечёт одну из осей. Измерим длины отрезков от начала координат до точек пересечения, присвоив им знак «плюс» или «минус» в зависимости от положения относительно начала координат. Эти числа и будут координатами точки. Разные точки обязательно имеют разные координаты. Любой паре чисел, выбранных в качестве координат, соответствует одна точка на плоскости.

Подобную систему координат можно ввести и в пространстве. Там положение точки характеризуется уже тремя числами, выражающими расстояния до трёх взаимно перпендикулярных плоскостей.

Однако по взаимному положению звёзд на небе нельзя узнать, сколько метров (или километров, или свето-

вых лет) от одной звезды до другой. Две звезды могут находиться очень далеко друг от друга, но примерно в одном направлении от Земли — и тогда мы увидим их на небе рядом. Значит, именно направления описывают видимое расположение светил. Числовую оценку направлений производят при помощи углов.

Представим два луча, исходящие из одной точки (глаза наблюдателя) в направлении двух разных светил на небе. Угол, заключённый между этими лучами, называется *угловым расстоянием* между светилами. Угол маленький — светила рядом; угол большой — они на разных участках небосклона. Существуют такие системы координат, в которых положение объекта характеризуют не линейные величины, а угловые. Например, географические координаты — широта и долгота — являются углами, определяющими положение точки на поверхности земного шара. Нечто подобное можно ввести и на небе.

Люди давно отказались от представления о небе как о куполе, украшенном светилами и окружающем обитаемую землю. Однако для описания взаимных положений и видимых движений светил очень удобно разместить все светила на внутренней поверхности воображаемой сферы достаточно большого радиуса, а самого наблюдателя — в центре этой сферы. Её называли *небесной сферой* и ввели на ней системы угловых координат, аналогичных географическим.



ЗЕНИТ, НАДИР, ГОРИЗОНТ

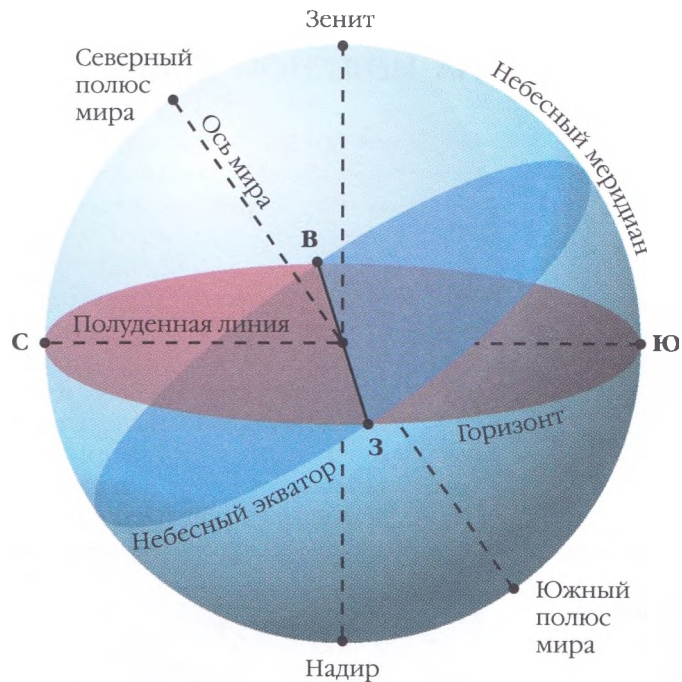
Чтобы отсчитывать координаты, нужно иметь какие-нибудь точки и линии на небесной сфере. Введём их.

Возьмём нитку и привяжем к ней грузик. Взявшись за свободный конец нитки и подняв грузик в воздух, получим отрезок отвесной линии. Продолжим его мысленно до пересечения с небесной сферой. Верхняя точка пересечения — *зенит* — будет находиться у нас прямо над головой. Нижняя точка — *надир* — наблюдению недоступна.

Если пересечь сферу плоскостью, в сечении получится окружность. Максимальный размер она будет иметь тогда, когда плоскость пройдёт через центр сферы. Эта линия так и называется — *большой круг*. Все остальные круги на небесной сфере — *малые*. Плоскость, перпендикулярная отвесной линии и проходящая через наблюдателя, пересечёт небесную сферу по большому кругу, именуемому *горизонтом*. Зрительно это то место, где «земля с небом сходится»; мы видим только ту половину небесной сферы, которая располагается над горизонтом. Все точки горизонта отстоят от зенита на 90° .

ПОЛЮС МИРА, НЕБЕСНЫЙ ЭКВАТОР, НЕБЕСНЫЙ МЕРИДИАН

Проследим, как перемещаются звёзды по небу в течение суток. Лучше всего это сделать фотографически, т. е. направить фотокамеру с открытым затвором на ночное небо и оставить так на несколько часов. На фотографии будет хорошо заметно, что все звёзды описывают на небе окружности с одним и тем же центром. Точка, соответствующая этому центру, называется *полюсом мира*. В наших широтах над горизонтом



Точки и линии небесной сферы.

располагается северный полюс мира (рядом с Полярной звездой), а в Южном полушарии Земли подобное движение совершается относительно южного полюса мира. Ось, соединяющая полюсы мира, именуется *осью мира*. Суточное движение светил происходит так, как если бы вся небесная сфера вращалась как одно целое вокруг оси мира в направлении с востока на запад. Это движение, разумеется, мнимое: оно является отражением истинного движения — вращения Земли вокруг своей оси с запада на восток.

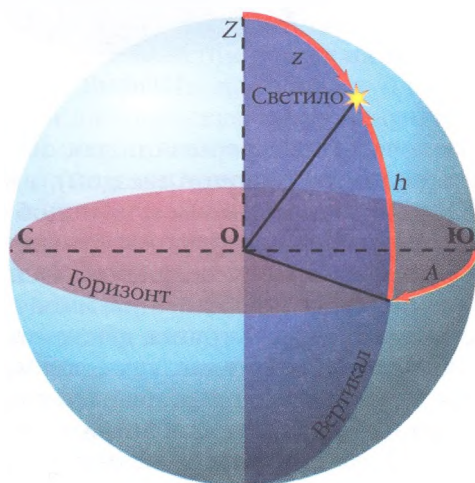
Проведём плоскость через наблюдателя перпендикулярно оси мира. Она пересечёт небесную сферу по большому кругу — *небесному экватору*, который делит её на два полушария — северное и южное. Небесный экватор пересекается с горизонтом в двух точках. Это *точки востока и запада*. А большой круг, проходящий через оба полюса мира, зенит и надир, называется *небесным меридианом*. Он пересекает горизонт в *точках севера и юга*.



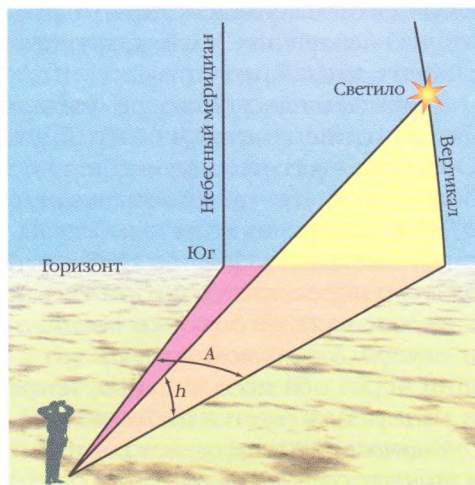
СИСТЕМЫ КООРДИНАТ НА НЕБЕСНОЙ СФЕРЕ

Проведём большой круг через зенит и светило, координаты которого хотим получить. Это — сечение небесной сферы плоскостью, проходящей через светило, зенит и наблюдателя. Такой круг называется *вертикалом светила*. Он, естественно, пересекается с горизонтом. Угол между направлениями на эту точку пересечения и на светило показывает *высоту* (h) светила над горизонтом. Она положительна для светил, располагающихся над горизонтом, и отрицательна для находящихся

Горизонтальная система координат.



Горизонтальная система координат. Вид изнутри небесной сферы.



под горизонтом (высота точки зенита всегда 90°). Теперь отсчитаем вдоль горизонта угол между направлениями на точку юга и на точку пересечения горизонта с вертикалом светила. Направление отсчёта — от юга к западу. Этот угол называется астрономическим *азимутом* (A) и вместе с высотой составляет координаты светила в *горизонтальной системе координат*.

Иногда вместо высоты используют *зенитное расстояние* (z) светила — угловое расстояние от светила до зенита. Зенитное расстояние и высота в сумме составляют 90° .

Знание горизонтальных координат светила позволяет найти его на небе. Но большое неудобство заключается в том, что суточное вращение небесной сферы приводит к изменению обеих координат со временем — достаточно быстрому и, что самое неприятное, неравномерному. Поэтому часто применяют системы координат, связанные не с горизонтом, а с экватором.

Снова проведём большой круг через наше светило. На этот раз пусть он проходит через полюс мира. Такой круг называется *кругом склонений*. Отметим точку пересечения его с небесным экватором. *Склонение* (δ) — угол между направлениями на эту точку и на светило — положительно для северного полушария небесной сферы и отрицательно для южного. Все точки экватора имеют склонение 0° . Теперь отметим две точки небесного экватора: в первой он пересекается с небесным меридианом, во второй — с кругом склонения светила. Угол между направлениями на эти точки, отсчитанный от юга к западу, именуется *часовым углом* (t) светила. Его можно измерить как обычно — в градусах, но чаще он выражается в часах: вся окружность делится не на 360° , а на 24 ч. Таким образом, 1 ч соответствует 15° , а 1° — $1/15$ ч, или 4 мин.

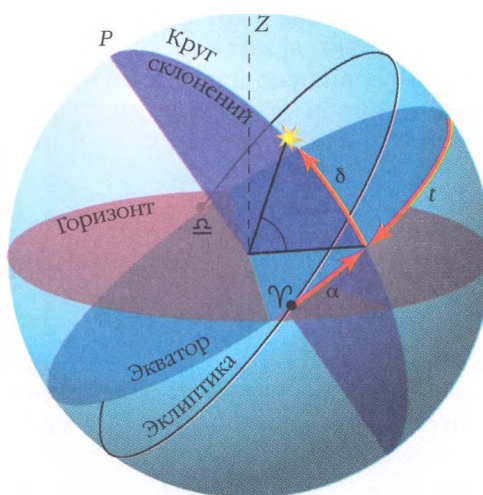


Суточное вращение небесной сферы уже не влияет катастрофически на координаты светила. Светило движется по малому кругу, параллельному небесному экватору и называемому *суточной параллелью*. При этом угловое расстояние до экватора не меняется, значит, склонение остаётся постоянным. Часовой угол возрастает, но равномерно: зная его значение в какой-либо момент времени, нетрудно рассчитать его для любого другого момента.

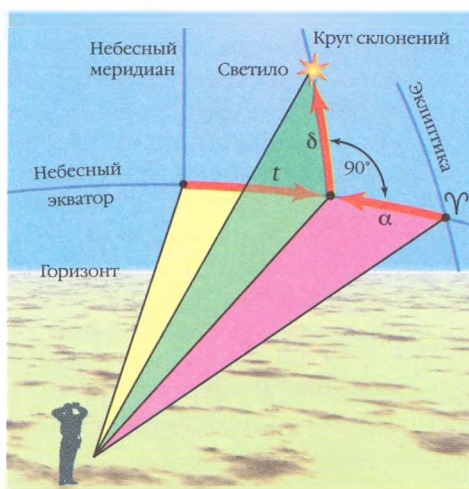
Тем не менее составить списки положений звёзд в данной системе координат нельзя, ведь одна координата всё же меняется со временем. Для получения неизменных координат нужно, чтобы система отсчёта перемещалась вместе со всеми объектами. Это возможно, так как небесная сфера в суточном вращении движется как единое целое.

Выберем на небесном экваторе точку, участвующую в общем вращении. В этой точке нет никакого светила; в ней бывает Солнце один раз в году (около 21 марта), когда оно в своём годовом (не суточном!) движении среди звёзд перемещается из южного небесного полушария в северное (см. статью «Путь Солнца среди звёзд»). Угловое расстояние от этой точки, называемой *точкой весеннего равноденствия* (Υ), до круга склонений светила, отсчитанное по экватору в направлении, противоположном суточному вращению, т. е. с запада на восток, называется *прямым восхождением* (α) светила. Оно не меняется при суточном вращении и вместе со склонением образует пару *экваториальных координат*, которые и приводятся в различных каталогах, описывающих положения светил на небосводе.

Таким образом, чтобы построить систему небесных координат, следует выбрать некоторую основную плоскость, проходящую через наблюдателя и пересекающую небес-



Экваториальная система координат.



Экваториальная система координат. Вид изнутри небесной сферы.

ную сферу по большому кругу. Затем через полюс этого круга и светило проводится ещё один большой круг, пересекающий первый, и в качестве координат принимаются угловое расстояние от точки пересечения до светила и угловое расстояние от некоторой точки на основном круге до той же точки пересечения. В горизонтальной системе координат основной плоскостью является плоскость горизонта, в экваториальной — плоскость небесного экватора.

Существуют и другие системы небесных координат. Так, для изучения движений тел в Солнечной системе применяется *эклиптическая систе-*



ма координат, в которой основной плоскостью служит плоскость эклиптики (совпадающая с плоскостью земной орбиты), а координатами — эклиптическая широта и эклипти-

ческая долгота. Имеется ещё и *галактическая система координат*, в ней в качестве основной плоскости принята средняя плоскость галактического диска.

РАСПОЛОЖЕНИЕ СВЕТИЛ «НА ЗАВТРА»

Чтобы найти на небе какую-нибудь звезду или другое светило, не меняющее своего положения относительно звёзд (например, туманность), нужно воспользоваться картой звёздного неба либо соответствующим каталогом. Но есть такие светила, небесные координаты которых (склонение и прямое восхождение) непрерывно и достаточно быстро меняются, так что их нельзя ни изобразить на карте, ни занести в каталог. Это Солнце, Луна, планеты, кометы, астероиды. Чтобы знать, где их искать на небе, нужно заранее рассчитать их положение. Положения светил, предвычисленные на определённые моменты времени в будущем, называются *эфемеридами*. В астрономии есть специальный раздел, занимающийся движением небесных тел, — небес-

ная механика. Её методы позволяют рассчитывать эфемериды.

Солнце, разумеется, легко найти на небе без всякой эфемериды. Однако эфемериды Солнца вычисляются и публикуются для других астрономических расчётов. Ведь движения всех тел Солнечной системы удобно описывать в системе координат, связанной с центральным телом этой системы — Солнцем. А перейти к такому описанию от наблюдательных данных, полученных на Земле, можно, только зная координаты Солнца в определённый момент времени, т. е. его эфемериду. Она, например, совершенно необходима для того, чтобы заранее вычислить все обстоятельства солнечных и лунных затмений.

Вычисление эфемериды Солнца осложнено тем, что наше дневное светило движется по эклиптике среди звёзд неравномерно. Это связано с эллиптичностью земной орбиты и неравномерностью движения Земли по орбите.

Движение Луны представляется на первый взгляд весьма простым: в соответствии с законами Кеплера она движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Земля. Однако законы Кеплера справедливы для двух тел, находящихся в поле тяготения друг друга. Сила, определяющая их взаимное перемещение, пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. В Солнечной системе заведо-

Венера
на вечернем
небе.





мо более двух взаимодействующих тел, и кеплеровские эллипсы лишь приближённо описывают их перемещения. Так, на Луну существенно влияет тяготение Солнца, которое хотя и находится намного дальше от неё, чем Земля, обладает огромной массой. Существуют и другие трудности при вычислении эфемериды Луны.

Сложные петли, которые выписывают на небе планеты, также поддаются расчёту методами небесной механики. В основном движение планет определяется тяготением Солнца. Но и другие планеты влияют на это движение. Это влияние обычно мало и называется *возмущением*. Именно возмущения в движении планеты Уран, которые нельзя было объяснить воздействием известных к середине XIX в. небесных тел, заставили исследователей предположить, что за Ураном существует ещё одна планета. Она была открыта в 1846 г. и получила название Нептун.

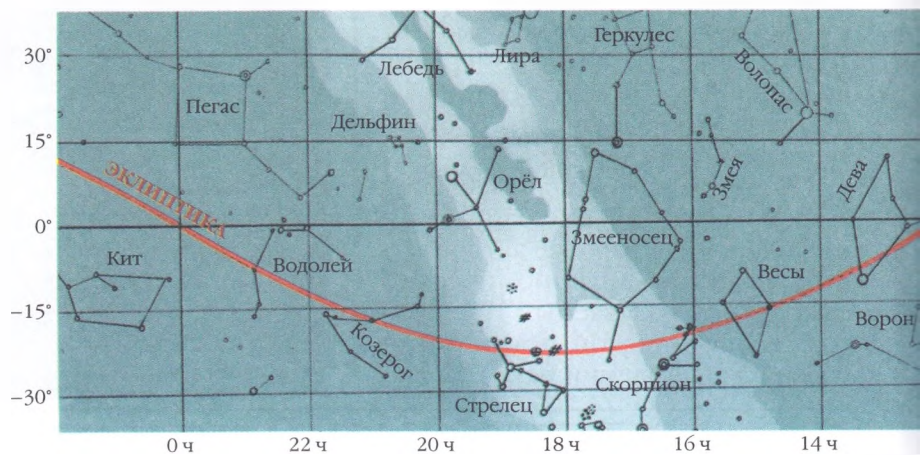
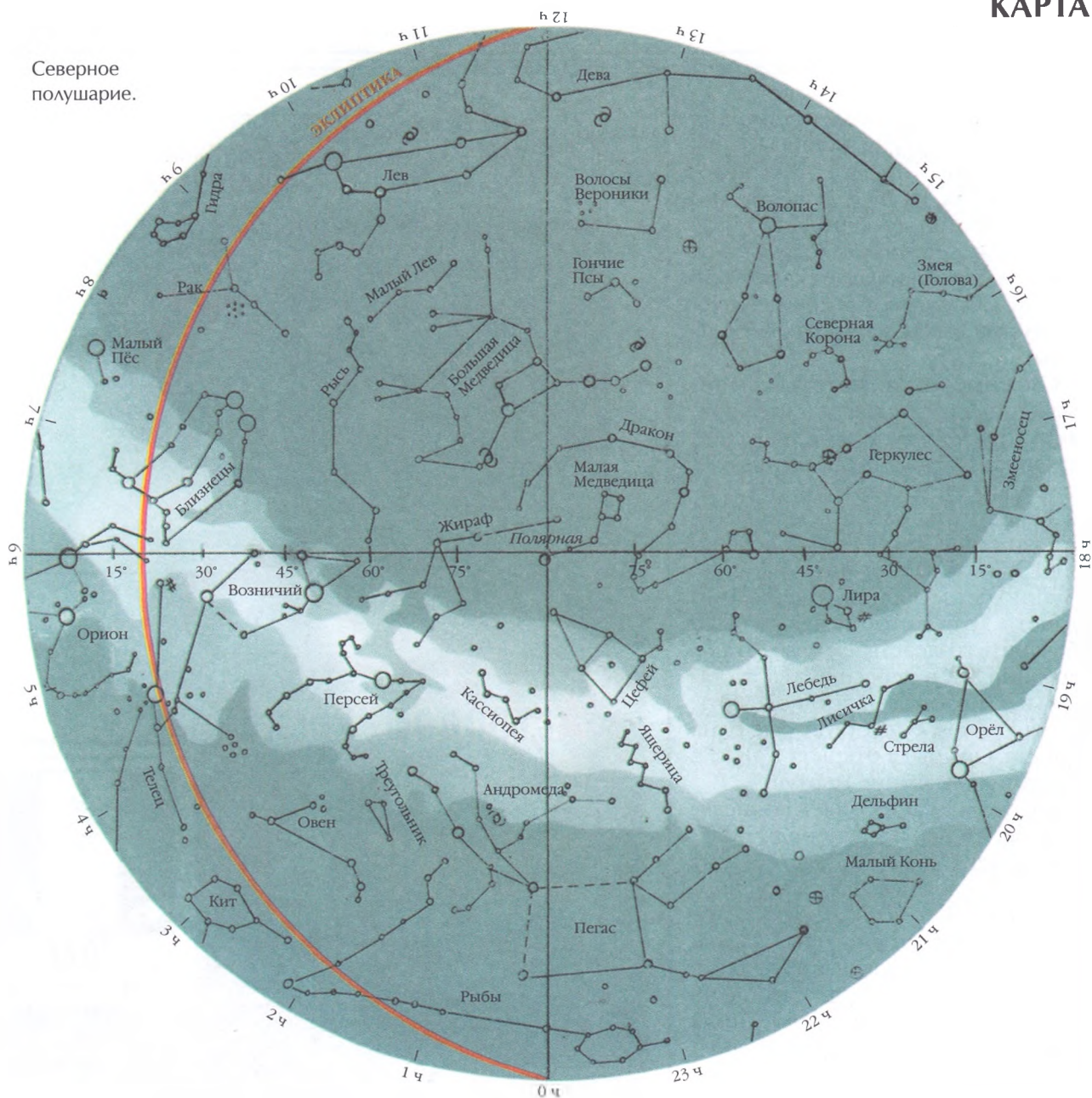
Эфемериды астероидов вычисляются так же, как и эфемериды больших планет. С кометами дело обстоит несколько сложнее. Для ряда периодических комет, возвращение которых наблюдалось много раз, задача та же самая, что и для планет, — если, конечно, комета не подходит очень близко к какой-нибудь планете. Тогда её орбита изменяется кардинально и трудность вычисления эфемериды резко возрастает. Большинство же комет наблюдается впервые, и дать их эфемериды заранее невозможно. Только проведя точные измерения положений новой кометы в три разные даты, можно вычислить её орбиту, а затем и эфемериду.

Сборники эфемерид именуются астрономическими ежегодниками и календарями. Наиболее авторитетным является «Астрономический ежегодник», издаваемый Институтом теоретической астрономии Российской академии наук. Для лю-

Астрономические календари.

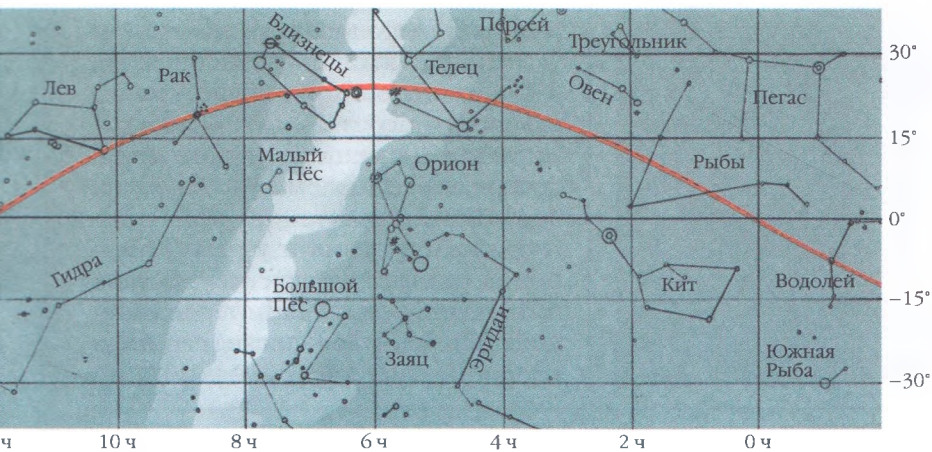
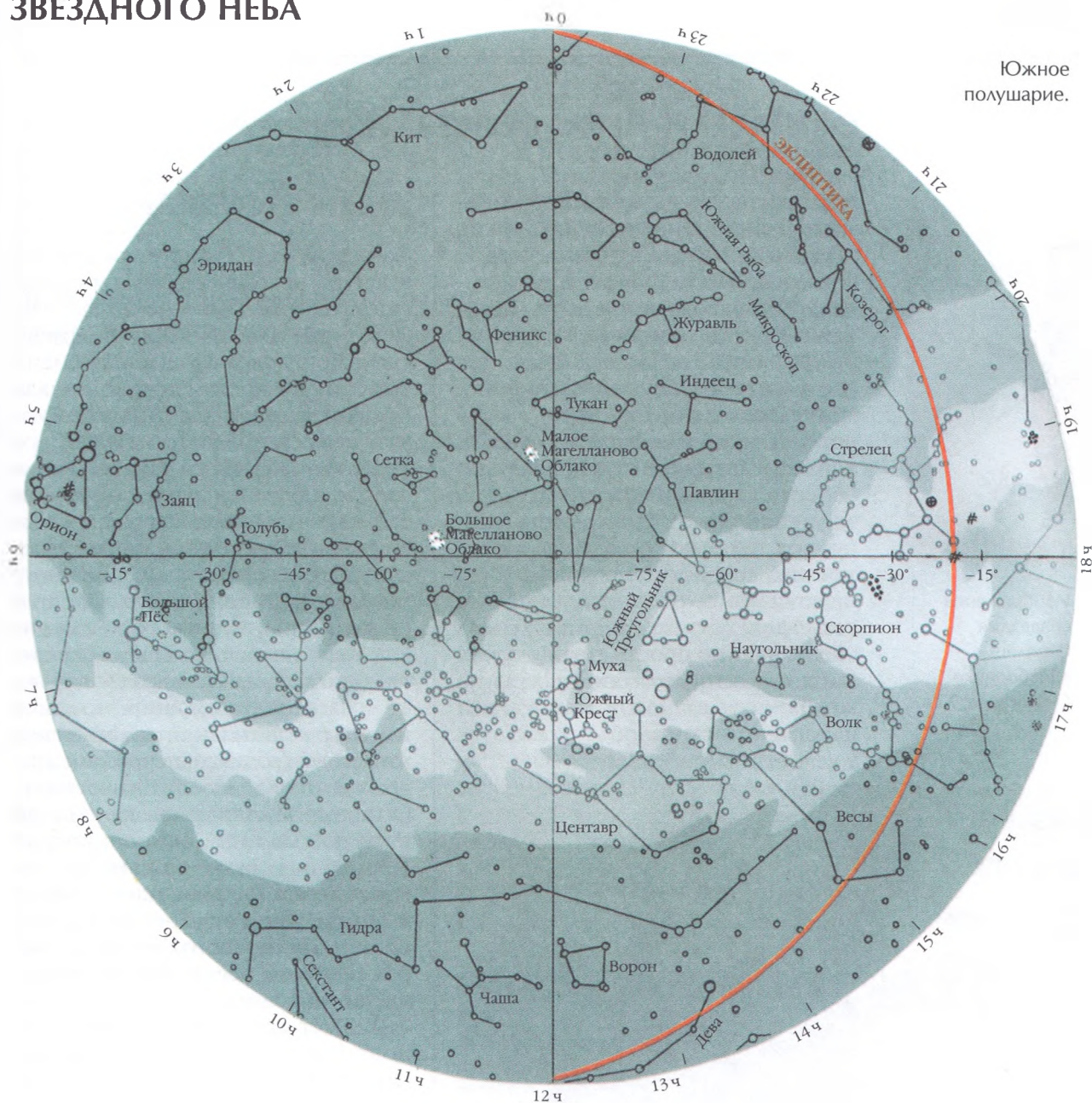


бителей астрономии издаётся «Астрономический календарь». Юным астрономам адресован «Школьный астрономический календарь», который содержит описание астрономических событий предстоящего учебного года.



ЗВЁЗДНОГО НЕБА

Южное
полушарие.



Карта экваториальных
созвездий.



ОБИТАТЕЛИ НЕБА. СОЗВЕЗДИЯ



Изображение созвездия Стрелец в Изборнике Святослава. XI в.



Изображение созвездия Лев в Изборнике Святослава. XI в.



Изображение созвездия Рак в Изборнике Святослава. XI в.



Изображение созвездия Козерог в Изборнике Святослава. XI в.

В давние времена созвездиями называли характерные группы ярких звёзд, которым давали имена, заимствованные из мифологии (Андромеда, Геркулес) или из быта (Весы, Телега). Эти названия весьма условны, и фигуры созвездий редко им соответствуют. Однако само выделение созвездий оказалось очень полезным: оно позволило создать первые календари и значительно облегчило ориентирование — как среди небесных объектов, так и при путешествиях по Земле. Даже современные астрономы и навигаторы не отказались от деления неба на созвездия, хотя этот термин теперь обозначает не просто группу ярких звёзд, а участок небесной сферы, на котором она расположена, со всеми находящимися там объектами.

ДРЕВНИЕ СОЗВЕЗДИЯ

Созвездия — это памятники древней культуры человечества, его мифологии, его первого интереса к звёздам. Некоторые созвездия были выделены ещё в бронзовом веке, в те времена, когда наши предки только начали познавать окружающий мир, наблюдать движение Солнца и Луны.

Чтобы запомнить пути движения светил, люди отмечали важнейшие звёзды, мимо которых те перемещаются на небе. Поэтому старейшими считаются созвездия зодиакального пояса, ведь именно вдоль него проходит линия годичного движения Солнца — эклиптика. Ещё в древности зодиакальный пояс разделили на 12 созвездий, в основном носящих имена реальных или мифических животных (зодиак в переводе с греческого и означает «круг животных»). Они выполняли роль календаря: в каждом из них Солнце проводило приблизительно один месяц. Эти группы звёзд выделяли жители Месопотамии, Финикии, Греции и других областей Восточного Средиземноморья. На самом деле эклиптика проходит по 13 созвездиям.

В 275 г. до н. э. древнегреческий поэт Арат в дидактической поэме «Явления» описал известные ему созвездия. Четыре века спустя астроном и математик Клавдий Птолемей создал «Альмагест», в котором указаны положения ярчайших звёзд в 48 созвездиях (преимущественно северного неба). Из них 47 сохранили свои имена до наших дней, теперь мы называем эти созвездия древними.

В разное время и у разных народов принципы деления неба на созвездия существенно различались. Так, в Китае в древности была распространена карта, на которой



звёздное небо разбивалось на четыре части, в каждой из них располагалось по 7 созвездий, т. е. всего 28. А монгольские учёные XVIII в. насчитывали 237 созвездий.

ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННЫХ СОЗВЕЗДИЙ

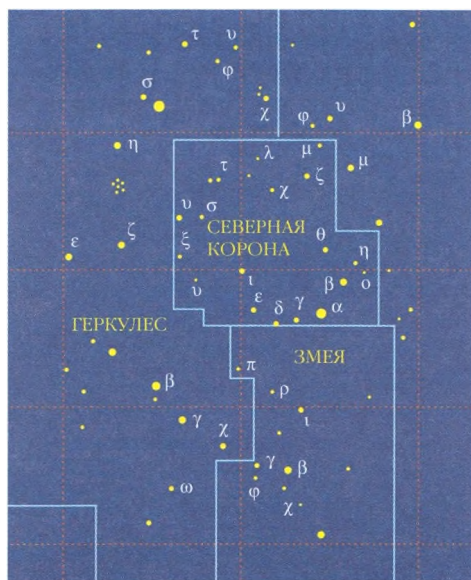
После кругосветных плаваний Магеллана и других путешественников XVI в. астрономы поняли, что значительная часть южного неба ещё не разделена на созвездия. Это привело к появлению современных созвездий, не имеющих отношения к мифологии. Многие составители звёздных карт в XVII—XIX вв. вводили новые созвездия. Иногда это было оправданно. Так, большое созвездие южного неба Корабль Арго было разделено на три: Корма, Киль и Паруса. Поскольку эта область неба чрезвычайно богата яркими звёздами и прочими интересными объектами, против её деления на небольшие созвездия никто не возражал. При общем согласии астрономов на небе разместились важнейшие научные инструменты: Микроскоп, Телескоп, Циркуль и Компас. Но вот ни одному новому имени, попавшему на небо по политическим или религиозным соображениям, не удалось там задержаться надолго.

Например, европейские монахи не раз пытались «христианизировать» небесный свод, т. е. изгнать с него героев языческих легенд и населить персонажами Священного Писания (так, созвездия зодиака изображались в виде 12 апостолов и т. д.). А некто Юлиус Шиллер из Аугсбурга издал в 1627 г. атлас созвездий под заглавием «Христианское звёздное небо...». Но, несмотря на огромную силу Церкви, новые названия созвездий не получили признания. Не попали на небо и имена европейских монархов: Георг II и Георг III, Карл II

и Людовик XIV. Даже пожелание студентов Йенского университета, воодушевлённых победами Наполеона, переименовать в его честь созвездие Орион, не нашло понимания у астрономов.

Конец всем попыткам перекроить звёздное небо положила I Генеральная ассамблея Международного астрономического союза (Рим, 1922 г.), которая приняла решение раз и навсегда определить наименования 88 созвездий, покрывающих всю небесную сферу. Утверждая названия созвездий, астрономы придерживались европейской традиции. Кроме латинских наименований были введены трёхбуквенные обозначения, предложенные Эйнарсом Герцшпрунгом и Генри Расселлом (см. таблицу «Созвездия» в Приложении). Позже были приняты и четырёхбуквенные обозначения созвездий, но ими пользуются крайне редко.

Поскольку астрономы называют теперь созвездиями не группы звёзд, а участки неба, то проблема определения созвездия сводится только к проведению его границ. Однако провести эти границы оказалось не так-то легко. Решено было сделать их



Границы созвездий на современной карте.



ломаными прямыми, проходящими только по линиям равных склонений и прямых восхождений (так легче закрепить их в математической форме). Над этим заданием трудились несколько астрономов. Они стремились сохранить историческую преемственность и по возможности не допустить попадания звёзд с собственными именами и общепринятыми обозначениями в «чужие» созвездия. На III Ассамблее МАС (Лейден, 1928 г.) были утверждены границы созвездий к северу от склонения -12° . Наконец в 1930 г. бельгийский астроном Эжен Дельпорт опубликовал карты и подробное описание новых границ созвездий. Правда, после этого ещё вносились некоторые уточнения, и только в 1935 г. астрономическая общественность решила: стоп, раздел неба закончен.

Разбив небо на созвездия, профессиональные астрономы не позаботились о стандартизации звёздных фигур, оставив это развлечение любителям астрономии. В действительности это не такое уж пустое занятие: удачно найденный способ соединить яркие звёзды в выразительный рисунок, да ещё связанный с названием созвездия, делает его запоминающимся, помогает ориентироваться на звёздном небе. Это важно и для любителей астрономии, и для навигаторов, и для путешественников.

По традиции, восходящей к «Уранометрии» Байера, наиболее яркие звёзды астрономы обозначают строчными буквами греческого алфавита с добавлением названия созвездия. Греческим алфавитом часто пользуются также математики и физики.

α альфа	η эта	ν ню	τ тау
β бета	θ тета	ξ кси	υ ипсилон
γ гамма	ι иота	$\omicron$ омикрон	ϕ фи
δ дельта	κ каппа	π пи	χ хи
ϵ эпсилон	λ ламбда	ρ ро	ψ пси
ζ дзета	μ мю	σ ς сигма	ω омега

Профессионалам рисунок созвездия уже не столь важен, поскольку современный телескоп наводится на небесные объекты автоматически по координатам. Вообще говоря, для большинства астрономов и само понятие «созвездие» постепенно уходит в прошлое. Ныне его используют в основном исследователи переменных звёзд и структуры Галактики.

ИМЕНА И ОБОЗНАЧЕНИЯ ЗВЁЗД

В нашей Галактике более 100 млрд звёзд. Около 0,004 % из них занесено в каталоги. Остальные безымянны и даже не считаны.

Самые яркие звёзды у каждого народа получали свои имена. Многие из ныне употребляющихся, например Альдебаран, Алголь, Денеб, Ригель, имеют арабское происхождение. Сейчас астрономам известно 275 исторических имён звёзд; часто они связаны с названиями своих созвездий. Так, имя звезды Бетельгейзе (в созвездии Орион) означает «плечо гиганта», Денебола (созвездие Лев) — «хвост льва» и т. д.

Приступив в конце XVI в. к детальному изучению неба, астрономы столкнулись с необходимостью иметь обозначения звёзд. И вот в 1603 г. немецкий астроном Иоганн Байер издал прекрасно иллюстрированный атлас «Уранометрия», где изображены созвездия и давшие им названия легендарные фигуры. Звёзды здесь впервые были обозначены буквами греческого алфавита приблизительно в порядке убывания их блеска: α (альфа) — ярчайшая звезда созвездия, β (бета) — вторая по блеску и т. д. Когда не хватало греческих букв, Байер использовал латинские. Полное обозначение звезды состояло из упомянутой буквы и латинского названия созвездия. Например, Сириус, ярчайшая звезда в созвездии Большой



Пёс (Canis Major), обозначается как α Canis Majoris, или сокращённо α СМа; а Алголь, вторая по яркости звезда в Персее, — β Persei, или β Пер.

Джон Флемстид, первый королевский астроном Англии, занимавшийся определением точных координат звёзд, ввёл иную систему их обозначения, не связанную с блеском. В каждом созвездии он присвоил звёздам номера в порядке увеличения их прямого восхождения, т. е. в той последовательности, в которой они пересекают меридиан. Так, Арктур, он же α Волопаса (α Bootes), обозначен как 16 Bootes.

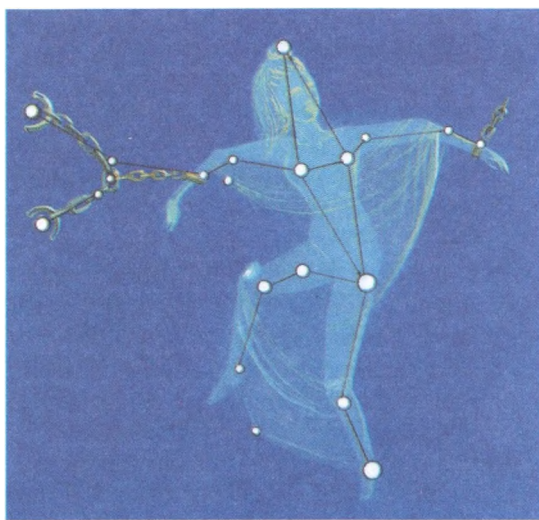
Некоторые выдающиеся звёзды носят имена астрономов, впервые описавших их уникальные свойства. Например, звезда Барнарда названа в честь американского астронома Эдуарда Эмерсона Барнарда, а звезда Каптейна — в честь нидерландского астронома Якобуса Корнелиуса Каптейна.

На современных картах звёздного неба обычно указывают древние собственные имена ярких звёзд и греческие буквы по Байеру (латинские буквы используют редко); остальные звёзды обозначают согласно Флемстиду.

Переменные звёзды обозначают латинскими прописными буквами от R до Z, затем комбинациями каждой из этих букв с каждой из последующих — от RR до ZZ, после чего используют комбинации букв от A до Q с каждой последующей — от AA до QZ (из всех вариантов исключается буква J, которую легко спутать с I). Число таких буквенных сочетаний — 334. Поэтому если в каком-то созвездии открыто большее количество переменных звёзд, они обозначаются буквой V (от *англ.* variable — «переменный») и порядковым номером начиная с 335, к которым добавляется трёхбуквенное обозначение созвездия. Например, R Lyr, S Car, RT Per, V557 Sgr и т. д.

ОПИСАНИЕ СОЗВЕЗДИЙ

Андромеда. Это созвездие легко найти: оно лежит к востоку от Большого Квадрата Пегаса, который осенними вечерами расположен в южной стороне неба. Андромеда состоит из трёх цепочек звёзд, выходящих из северного угла Квадрата к северо-востоку, в сторону Персея. Согласно греческому мифу, Андромеда — дочь эфиопского царя Цефея (Кефея) и царицы Кассиопеи. Грозный



Андромеда.

бог морей Посейдон предназначил царевну в жертву морскому чудовищу, но Персей спас её. Самые замечательные объекты в этом созвездии — галактика М 31 (туманность Андромеды) и два её спутника: галактики М 32 и NGC 205. Туманность Андромеды была известна арабам ещё в X в., а европейские учёные обнаружили её только в XVII столетии. Диаметр М 31 около 120 тыс. световых лет; по строению она очень похожа на нашу Галактику. Расстояние до неё немногим более 2 млн световых лет. Найти туманность Андромеды на городском небе нелегко. Влево от Большого Квадрата тянутся три яркие звезды Андромеды — α (верхний угол Квадрата), β и γ . От средней из



них (β) вправо-вверх лежат две слабые звёздочки μ и ν . А чуть правее и выше ν расположено туманное пятнышко М 31. Если отвести взгляд немного в сторону, боковое зрение поможет увидеть далёкую галактику.

Близнецы. Зодиакальное созвездие с фигурой, оправдывающей название. Звёзды Кастор и Поллукс представляют головы близнецов, а тела их спускаются к Млечному Пути, в сторону Ориона. Греки называли эти звёзды в честь сыновей Зевса — близнецов Кастора и Полидевка, который в латинизированной форме именуется Поллуксом.

Иоганн Байер определил Кастор как α Близнецов, хотя сейчас он светит слабее Поллукса. Выходит, или Поллукс с тех пор стал ярче, или блеск Кастора ослаб. А может быть, Байер ошибся...

Кастор — визуальная тройная система, причём оба её ярких компонента являются спектрально-двойными звёздами, а слабый — затменная двойная. Значит, Кастор — это кратная система из шести звёзд. Расстояние его от Солнца 45 световых лет.

Большая Медведица. Крупное северное созвездие, семь ярких звёзд которого образуют известный Ковш. Греческий миф повествует о том, что прекрасную нимфу Каллисто

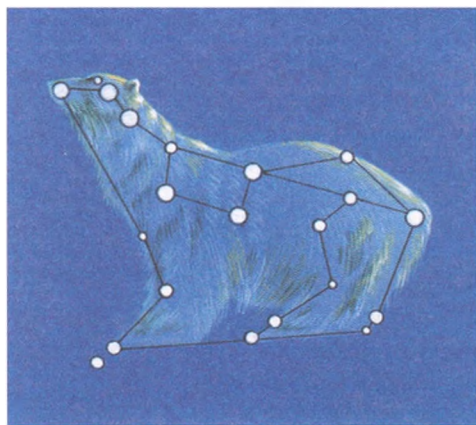


Зевс превратил в медведицу, чтобы спасти её от мести своей ревливой супруги Геры.

Прямая линия, проведённая через звёзды α и β , указывает на Полярную звезду. У всех звёзд Ковша есть свои имена: Дубхе (α) по-арабски значит «медведь»; Мерак (β) — «поясница»; Фекда (γ) — «бедро»; Мегрец (δ) — «корень» (начало хвоста); Алиот (ϵ) — смысл не ясен; Мицар (ζ) — «набедренная повязка»; Алькаид (или Бенетнаш, η) — «хозяин». Все они 2—3-й звёздной величины. Обозначая звёзды греческими буквами в

► Близнецы.

Большая Медведица.



► Большая Медведица на небе.





соответствии с убыванием их блеска, Байер не придерживался этой системы для звёзд Ковша: здесь порядок букв просто соответствует порядку звёзд. Рядом с Мицаром зоркий глаз различит звезду 4-й звёздной величины — Алькор (*перс.* «незначительная» или «забытая»).

Любопытно, что пять звёзд Ковша (кроме α и η) действительно составляют в пространстве единую группу, довольно быстро перемещающуюся по небу, поэтому рисунок Ковша за 100 тыс. лет заметно меняется.

Большой Пёс. Лежит к юго-востоку от Ориона. В этом созвездии находится ярчайшая звезда неба — Сириус (–1,5 звёздной величины).



Сириус, как и само созвездие, уже 5 тыс. лет назад ассоциировался с собакой; его древнейшее шумерское название означает «собака солнца». В Египте же его звали «предвосхищающей» звездой. Это была звезда богини Исиды; её утренний восход предвещал разлив Нила. Греки называли Сириус просто «собакой», а римляне — «собачкой», по-латински *Canicula*. После долгого зимнего перерыва эта звезда впервые появлялась в июле, знаменуя наступление самого жаркого времени года. На эти знойные, «собачьи» — каникулярные — дни патриции уезжали на загородные виллы. Отсюда и про-

изошло слово «каникулы». Название Сириус, вероятно, связано с греческим *seirios* — «ярко горящий».

У Сириуса есть спутник — белый карлик, обращающийся вокруг главной звезды с периодом 50 лет. Его светимость в 10 тыс. раз слабее, чем у Сириуса, радиус в 100 раз меньше солнечного, но масса такая же, как у Солнца. Поэтому спутник Сириуса имеет фантастическую плотность — тонна на кубический сантиметр!

В 4° к югу от Сириуса находится очень красивое рассеянное звёздное скопление М 41.

Весы. В «Альмагесте» Птолемея это созвездие описано как «клешны» Скорпиона; лишь незадолго до начала христианской эры римляне дали ему нынешнее имя. До сих пор звёзды α и β Весов называют Южной и Северной Клешнями.

Водолей. Расположен в зодиаке между Козерогом и Рыбами. У древних шумеров это было одно из священных созвездий, поскольку оно олицетворяло бога неба Ана, дающего земле живительную воду. Арат и Птолемей называли его Водолеем и представляли как юношу, льющего воду из кувшина в рот Южной Рыбы. Водолей состоит из слабых звёзд, но в нём есть красивая двойная звезда ζ , две планетарные туманности и шаровое звёздное скопление М 2.

Возничий. Звёздный пятиугольник, лежащий к северу от Близнецов. Это созвездие было выделено более 2500 лет назад. Возничим, имя которого носит созвездие, считается Посейдон: он мчится по морю в колеснице, запряжённой длинногривыми конями. Значит, это одно из созвездий, связанных с мифом об Андромеде. Ярчайшую звезду в нём шумеры, а вслед за ними греки и арабы именовали «звездой козы», а римляне называли «маленькой козочкой» — Капеллой. Это спектрально-двойная звезда с периодом 104 суток. Её светимость в 150 раз

◀
Большой Пёс.



Возничий.
Изображение
созвездия
в старинном
атласе.



выше солнечной. В созвездии три прекрасных рассеянных скопления: М 36, М 37 и М 38.

Волк. Лежит к югу от Весов. Шумеры называли его Чудовище Смерти, а греки — просто Зверь.

Волопас. Это большое созвездие всё лето можно наблюдать в Северном полушарии. Его главную звезду Арктур (*греч.* «страж медведя») легко найти, продолжив «хвост» Большой Медведицы на 30° к югу. Эта ярчайшая звезда к северу от небесного эк-

Волопас.
Изображение
созвездия
в старинном
атласе.



ватора с визуальной звёздной величиной $-0,06$ и светимостью в 115 раз выше солнечной удалена от нас на расстояние 36 световых лет.

Древние считали Волопаса одним из важнейших созвездий; шумеры называли его созвездием Преданного Небесного Пастуха, а греки — Погонщиком Волон и Стражем Медведя.

Волосы Вероники. Созвездие между Гончими Псами и Девой Эратосфен (III в. до н. э.) называл Волосами Ариадны, а Птолемей вообще относил эти звёзды к созвездию Льва. Но рождение созвездия имеет точную датировку: оно названо в честь Вероники — жены египетского царя Птолемея III Эвергета (правил в 246—221 гг. до н. э.). Согласно преданию, она отрезала свои прекрасные волосы и поместила их в храме Венеры в благодарность за военную победу, дарованную её мужу богами. А когда волосы из храма пропали, жрец-астроном Конон заявил Веронике, что Зевс взял их на небо. Лишь в 1602 г. созвездие было официально включено в каталог Тихо Браге. В этом созвездии лежит северный галактический полюс.

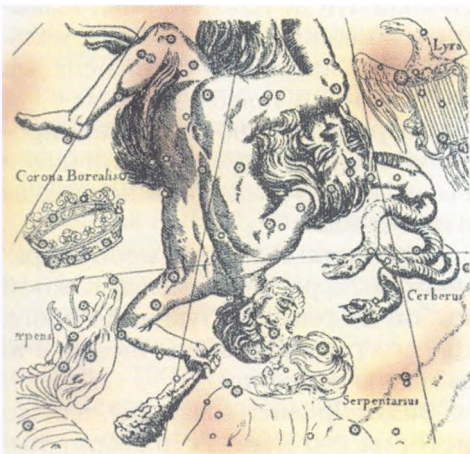
Ворон. Маленькое созвездие в виде неправильного четырёхугольника к югу от Девы. Вавилоняне отождествляли его с птицей-богом Анзуд, похитившей таблицы судеб у верховного божества Энлиля. Очень красива визуально-двойная звезда δ Ворона.

Геркулес. Расположен между Лирой и Волопасом. У греков это созвездие упоминалось ещё в V в. до н. э. под именем Геракл. Геракл (у римлян Геркулес) — прославленный герой, сын Зевса и смертной женщины Алкмены. Чтобы обрести бессмертие, он должен был совершить 12 подвигов. Целый ряд древних созвездий связан со сказаниями о подвигах Геракла.

Красивая двойная звезда α Геркулеса носит имя Рас Альгети, что по-арабски значит «голова коленопреклонённого».



Украшением созвездия служит шаровое скопление М 13, расположенное под правым «плечом» Геркулеса. Невооружённым глазом оно различимо как туманное пятнышко между звёздами η и ζ , а в телескоп выглядит просто восхитительно!



Гидра. Крупнейшее созвездие, протянувшееся от Рака на западе до Весов на востоке. Шесть звёзд под Раком — это «голова» водяного чудовища. Согласно греческому мифу, победа над лернейской гидрой — один из 12 подвигов Геракла. Ярчайшую из звёзд, α Гидры, арабы именовали Альфард, что значит «одинокая», поскольку вблизи неё нет других ярких звёзд. Её также часто называют Сердцем Гидры или Сердцем Большого Змия.

Голубь. Введено Байером; известно также как Голубь Ноя. Лежит к юго-западу от Большого Пса, рядом с созвездиями — частями Корабля Арго (Корма, Киль, Паруса), который иногда рассматривают как Ноев Ковчег.

Гончие Псы. Созвездие к юго-западу от Большой Медведицы. Название ему присвоил в XVII в. польский астроном Ян Гевелий.

В 1725 г. Эдмунд Галлей дал звезде α Гончих Псов имя Сердце Карла (Cor Caroli) в честь английского короля Карла II. Это красивая двойная

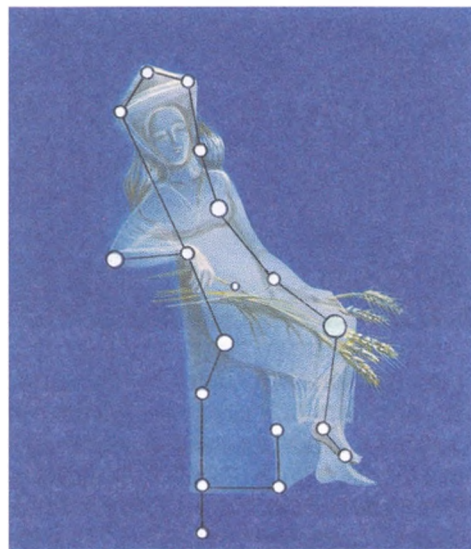
звезда, один из компонентов которой — спектрально-двойная. Широко известна также спиральная галактика М 51 9-й звёздной величины, расположенная в 3° к юго-западу от последней звезды «хвоста» Большой Медведицы. На конце её спирального рукава видна галактика-спутник.

Дева. Созвездие лежит в зодиаке между Львом и Весами. Ярчайшая звезда — Спика (α Девы), что на латинском значит «колос». В мифах Дева представляет богиню любви и материнства.

Любопытна звезда γ Девы по имени Поррима. Это двойная система с очень вытянутой орбитой и периодом 171 год. Блеск каждого из её компонентов 3,5 звёздной величины. Максимальное расстояние между ними в 1925 г. составляло около $6''$; к 2011 г. оно уменьшилось до $0,5''$.

Рядом со звездой ρ Девы находится очень интересная галактика М 87 (она же радиогалактика Дева А) примерно 9-й звёздной величины. Это чрезвычайно массивная звёздная система, из ядра которой выбрасывается мощная плазменная струя. В Деве расположен и самый яркий квазар 3С 273, один из ближайших к нам. Но даже он настолько далёк и

◀ Геркулес. Изображение созвездия в старинном атласе.



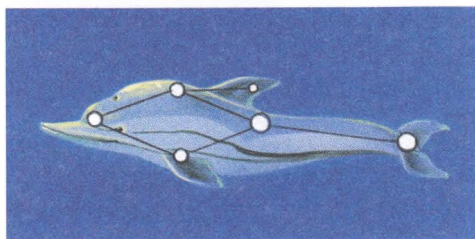
Дева.



слаб (12-й звёздной величины), что его можно увидеть только в большой телескоп.

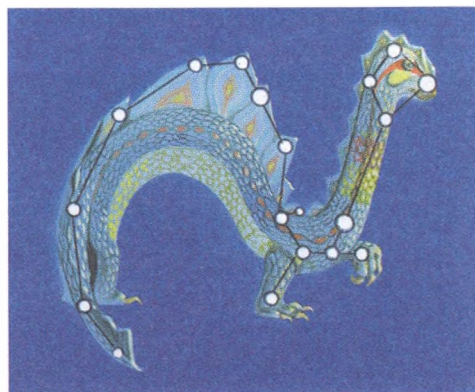
Дельфин. Симпатичная маленькая группа звёзд между Орлом и Лебедем, похожая на ромбик с хвостиком. Согласно греческому мифу, дельфин помог Посейдону найти его будущую супругу — морскую нимфу Амфитриту, за что и был помещён на небо.

Дельфин.



Дракон. Длинное созвездие, охватывающее Малую Медведицу с трёх сторон. Греческий миф говорит, что это дракон Ладон, охранявший дерево с золотыми яблоками вечной молодости; добывая эти яблоки, Геракл убил дракона. С 3700 до 1500 г. до н. э. вблизи α Дракона располагался северный полюс мира.

Дракон.



Единорог. Это созвездие впервые появилось в каталоге Гевелия в 1690 г. Находится оно между Большим Псом, Малым Псом и Орионом. Хотя лежит в Млечном Пути, ярких звёзд не имеет.

Жертовенник. Одно из древнейших созвездий под «хвостом» Скорпиона. Многие его звёзды лежат в Млечном Пути. Шумеры называли его созвездием Древнего Жертовенного Огня, а Птолемей — Кадилом.

Живописец. Созвездие введено в XVIII в. французским астрономом Никола Луи де Лакайлем под названием Живописный Станок, т. е. мольберт. Это маленькая группа слабых звёзд к югу от Голубя.

Жираф. Большое созвездие, протянувшееся от Персея, Возничего и Рыси к Малой Медведице. Все звёзды в нём слабые.

Журавль. Попал на небо стараниями Байера. Лежит между Южной Рыбой на севере и Туканом на юге. Две его главные звёзды имеют 2-ю звёздную величину.

Заяц. Древнее созвездие, однако история его неизвестна. Арат пишет: «У Орионовых ног изо дня в день Заяц бежит, от погони спасаясь. Но неотступно по следу его несётся Сириус, не отставая ни на шаг». Очень интересна красная звезда R Зайца. Английский астроном Джон Расселл Хайнд описывал её в 1845 г. как «каплю крови на чёрном фоне». Это переменная звезда; с периодом 432,5 суток её блеск меняется от 5,9 до 10,5 звёздной величины.

Змееносец. Лежит к югу от Геркулеса. Греческий миф связывает Змееносца с именем великого бога врачевания Асклепия, чьим неперенным атрибутом была змея. Воспитателем юного Асклепия был мудрый кентавр Хирон, знаток медицины. Повзрослев, Асклепий решил воскрешать мёртвых, за такую дерзость разгневанный Зевс поразил его молнией и поместил на небо.

В этом созвездии много шаровых скоплений и повторная новая звезда RS Змееносца. Хотя это не зодиакальное созвездие (нет своего знака), Солнце проводит в нём 20 дней, с 27 ноября по 17 декабря.



Змея. Состоящее из двух частей созвездие в «руках» Змееносца; первоначально входило в его состав. «Голова» Змеи лежит к северо-западу от Змееносца, а «хвост» — к юго-востоку.

На конце «хвоста» помещается двойная звезда θ Змеи 4-й звёздной величины. Два белых её компонента, похожие друг на друга, разделены расстоянием в 22" и доступны для наблюдения в хороший бинокль. В «голове», на 7° юго-западнее α Змеи, можно найти шаровое скопление М 5 7-й звёздной величины.

Золотая Рыба. Южное созвездие, выделенное Байером. В нём, у границы с созвездием Столовая Гора, видна галактика Большое Магелланово Облако, находящаяся от нас на расстоянии всего 180 тыс. световых лет.

Индеец. Это созвездие южного неба, введённое Байером, ассоциируется с образом американского индейца.

Кассиопея. Одно из красивейших созвездий, похожее на букву М, когда наблюдается над северным

полюсом мира в декабре, и на букву W, когда наблюдается ниже полюса в июне. Кассиопея была женой царя Цефея и матерью Андромеды.

Большая часть созвездия лежит в Млечном Пути и содержит много интересных рассеянных скоплений. Именно там в 1572 г. вспыхнула новая Тихо Браге, которая была ярче Венеры.

Кентавр (Центавр). Одно из самых южных созвездий, известных древним. Первоначально в него включали звёзды, из которых позже было образовано созвездие Южный Крест. Но и без них Кентавр — большое созвездие, содержащее множество ярких звёзд.



Кентавр.
Изображение созвездия в старинном атласе.

Согласно греческим мифам, кентавр, попавший на небо, — это мудрый Хирон, сын титана Кроноса и нимфы Филиры, знаток науки и искусства, воспитатель греческих героев: Ахилла, Асклепия, Ясона.

Ярчайшая звезда созвездия — α Кентавра, которую древние звали Ригиль Кентаврус («нога кентавра»), — ближайшая к Солнцу звезда. Расстояние до неё 4,3 световых года. Это визуальная тройная звезда; звёздные величины её компонентов: $-0,04$; 1,17 и 10,68. Ярчайший из них по массе и спектру очень похож на

Кассиопея.
Изображение созвездия в старинном атласе.





Солнце. А третий, самый слабый компонент был открыт английским астрономом Робертом Иннесом в 1915 г. Он оказался к нам ближе всех (4,16 светового года). Звёздочку назвали Проксимой (*лат.* «ближайшая»). Это вспыхивающий маломассивный красный карлик

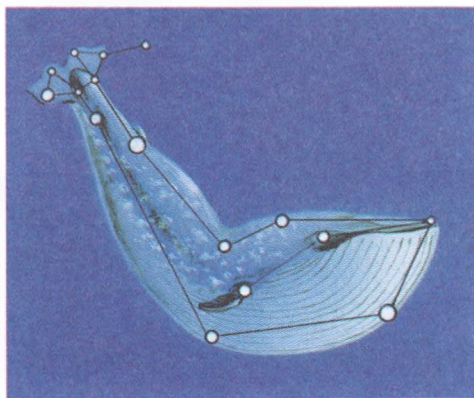
Киль. Украшением созвездия служит великолепный Канопус, имеющий блеск $-0,73$ звёздной величины. Другой интересный объект — гигантская газовая туманность вокруг переменной звезды η Киля.

Кит. Это созвездие лежит к югу от Рыб и Овна. Греки видели в нём морское чудовище, посланное Посейдоном, чтобы разрушить страну Цефея и проглотить его дочь Андромеду.

Самой известной звездой в Ките является Мира (*лат.* «удивительная»). Это долгопериодическая переменная звезда, красный гигант, изменяющий блеск от 2-й до 10-й звёздной величины с периодом 332 дня.

► Козерог и Водолей. Изображение созвездий в старинном атласе.

Кит.



А скромная звёздочка τ Кита по своим характеристикам очень похожа на Солнце, что и сделало её знаменитой в начале 1960-х гг. В 1960 г. американский радиоастроном Фрэнк Дрэйк осуществил первый эксперимент по поиску на волне 21 см сигналов внеземных цивилизаций от двух ближайших к нам звёзд солнечного типа, у которых предполагалось наличие планетных систем. Это были

τ Кита и ϵ Эридана. Тогда сигналов обнаружить не удалось. Но ведь то было лишь начало. С тех пор эти две звезды постоянно находятся в активе радиоастрономов, пытающихся принимать внеземные радиogramмы.

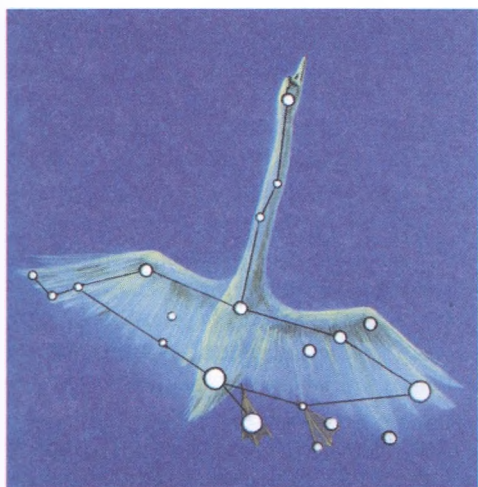
Козерог. Зодиакальное созвездие. Древние называли его Рыба-Коза, и в таком виде оно изображено на многих картах. Расположено ниже и западнее Водолея. Его самую северную звезду — α Козерога — можно различить как двойную невооружённым глазом.



Компас. Созвездие южного полушария, введенное Лакайлем под названием Компас Мореплавателя.

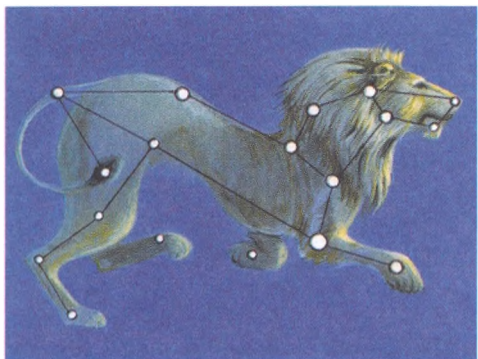
Корма. Часть некогда большого созвездия Корабль Арго. Лежит в Млечном Пути, содержит много интересных звёзд, среди которых затменная переменная V Кормы, меняющая свой блеск от 4,74 до 5,25 звёздной величины с периодом 1,45 суток.

Лебедь. Выразительная фигура в виде креста из ярких звёзд в Млечном Пути. Вавилоняне называли это созвездие Лесной Птицей; арабы — Курицей, а греки считали Лебедем, летящим вдоль Млечного Пути. Согласно мифу, в образе лебедя Зевс соблазнил жену спартанского царя Леду, от их союза родились Елена Прекрасная и небесные близнецы Кастор и Полидевк (Поллукс).



На вершине креста, в хвосте фигуры Лебеда, находится яркая звезда Денеб. Вместе с Вегой (α Лир) и Альтаиром (α Орла) она образует осенне-летний треугольник. Денеб по-арабски означает «хвост курицы». В Млечном Пути вблизи Денеба видна тёмная область — Северный Угольный Мешок. Звезда в «голове птицы», β Лебеда по имени Альбирео, — великолепная визуально-двойная с жёлтым и голубым компонентами.

Лев. Находится в зодиаке между Раком и Девой. Созвездие было известно шумерам ещё 5 тыс. лет назад. Классический античный миф связывает его с убитым Гераклом немейским львом. Расположение звёзд действительно напоминает лежащего льва. Его «голову» часто называют Серпом; внизу у него яркая звезда —



это α Льва, Регул, что значит «царь». В задней части фигуры находится вторая по яркости звезда — Денебола (в переводе с арабского — «хвост льва»).

Летучая Рыба. Созвездие южного неба; название ему дал Байер.

Ли́ра. Маленькое, но очень красивое созвездие между Геркулесом и Лебедем. Арабы называли его Падающий Орёл. Главная звезда — Вега, от арабского «ал-ваки» — «падающий».

Вега — одна из ярчайших звёзд северной небесной полусферы; она имеет блеск 0,04 звёздной величины и удалена от нас на 27 световых лет. Рядом с Вегой находится ϵ Лир — система 4,5 звёздной величины,



Осенне-летний треугольник на небе: Денеб (α Лебеда), Вега (α Лир) и Альтаир (α Орла).

состоящая из двух тесных двойных звёзд, разделённых углом $3'$. Все четыре звезды — голубые гиганты, похожие на Сириус. Между звёздами β и γ расположена кольцевая планетарная туманность М 57 9-й звёздной величины.

В Лире немало известных переменных звёзд. Например, RR Лир — короткопериодическая пульсирующая переменная звезда типа цефеид. Её блеск с периодом в полсутки

◀
Лебедь.

◀
Лев.



СОЗВЕЗДИЯ И ЗНАКИ ЗОДИАКА

Весьма популярны созвездия зодиакального пояса. Они имеют древнюю астрологическую историю. В давние времена каждое из этих созвездий обозначалось особым знаком (символом). Эклиптика была разделена на 12 равных частей, которые также называли знаками зодиака. Их отсчёт вёлся от точки весеннего равноденствия. Такие созвездия важны для астрономов, поскольку на их фоне разыгрываются основные события в Солнечной системе.

Но время идёт. Медленное конусообразное движение земной оси, вызванное гравитационным влиянием на нашу планету Луны и Солнца, приводит к перемещению точки весеннего равноденствия по эклиптике к западу. Это явление называется прецессией или предварением равноденствия. За прошедшие несколько тысячелетий точка весеннего равноденствия переместилась из созвездия Телец через Овна в Рыбы. В результате весь зодиакальный ряд созвездий как бы сместился на два положения — ведь отсчёт по традиции

начинается от того созвездия, в котором расположена точка весеннего равноденствия. Например, Рыбы когда-то были одиннадцатым зодиакальным созвездием, а теперь — первое; Телец считался первым, стал третьим. Примерно в 2400 г. точка весеннего равноденствия переместится из Рыб в Водолея, и тогда он будет первым созвездием зодиака.

В то же время зодиакальные знаки, которые применяют астрологи для обозначения равновеликих участков эклиптики, жёстко связаны с точками равноденствия и следуют за ними. Два тысячелетия назад, когда писались классические руководства, до сих пор используемые астрологами, зодиакальные знаки располагались в одноимённых созвездиях зодиака. Но перемещение точки равноденствия привело к тому, что зодиакальные знаки теперь расположены в других созвездиях. Так что Солнце попадает в определённый знак зодиака на две — пять недель раньше, чем доберётся до одноимённого созвездия.

Знак зодиака	Созвездие	Дата вступления Солнца	
		в созвездие	в знак зодиака*
♈	Козерог	19 января	22 декабря
♉	Водолей	15 февраля	20 января
♊	Рыбы	11 марта	18 февраля
♋	Овен	18 апреля	20 марта
♌	Телец	13 мая	20 апреля
♍	Близнецы	21 июня	21 мая
♎	Рак	20 июля	21 июня
♏	Лев	10 августа	23 июля
♐	Дева	16 сентября	23 августа
♑	Весы	30 октября	23 сентября
♒	Скорпион	22 ноября	23 октября
♓	Змееносец	29 ноября	—
♐	Стрелец	17 декабря	22 ноября

*Даты вступления Солнца в границы созвездий и в одноимённые знаки зодиака указаны для 1994 г. В другие годы эти даты могут отличаться на один-два дня.



меняется от 7-й до 8-й звёздной величины. Здесь же и двойная переменная звезда β Лирь, изменяющая блеск с периодом 13 суток от 3,4 до 4,3 звёздной величины. Эту затменную переменную обнаружил в 1784 г. глухонемой английский астроном Джон Гудрайк, первый исследователь переменных звёзд.

Лисичка. Созвездие введено Гевелием в 1690 г. под именем Маленькая Лисичка с Гусем. Находится к югу от Лебеда. Ярких звёзд не имеет, хотя лежит в Млечном Пути. Интересный объект — планетарная туманность Гантель (M 27) 8-й звёздной величины, лежащая на 3° к северу от γ Стрелы (яркая звезда в «наконечнике» Стрелы).

Малая Медведица. Созвездие известно также как Малый Ковш. Последняя звезда в его «ручке» — Полярная — располагается примерно в 1° от северного полюса мира. В 2102 г. Полярная приблизится к полюсу на минимальное расстояние — примерно $0,5^\circ$. В древности арабы называли Полярную звезду «козлёнком», а звезду β именовали Кохаб, что значит «северная звезда»: действительно, с 1500 г. до н. э. по 300 г. н. э. она была ближайшей к полюсу.

Малый Конь. Этот «жеребёнок» был введён Гиппархом. Маленькая группа невзрачных звёзд рядом с Дельфином.

Малый Лев. Лежит прямо над созвездием Лев. Ярких звёзд не содержит. Название дано Гевелием.

Малый Пёс. Располагается к югу от Близнецов. Название ярчайшей звезды Процион по-гречески означает «тот, который до собаки»: Процион восходит перед Сириусом (α Большого Пса). Подобно Сириусу Процион имеет спутник — белый карлик с периодом обращения 40,7 года. Светимость Проциона в семь раз выше солнечной, а расстояние до него 11,3 световых года. Его видимая звёздная величина 0,37.

На древних картах Большой и Малый Псы сопровождают охотника Ориона.

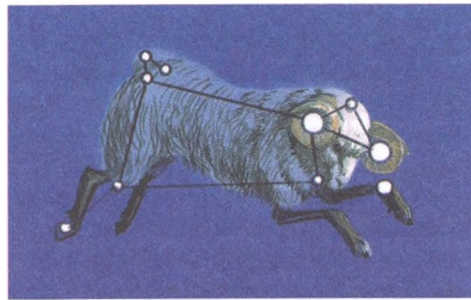
Микроскоп. Невзрачное созвездие, лежащее между Козерогом и Индейцем. Введено Лакайлем.

Муха. Маленькое, но красивое созвездие в Млечном Пути, к югу от Южного Креста. Впервые появилось в атласе Галлея в 1679 г.

Насос. Современное созвездие, которому Лакайль дал название Воздушный Насос. Расположено к востоку от Компаса.

Наугольник (т. е. угломер). Созвездие введено Лакайлем; лежит к северу от Южного Треугольника.

Овен (т. е. баран). Одно из наиболее заметных созвездий зодиака. Лежит к югу от Треугольника и Персея. Разумеется, это тот самый золоторунный баран, о котором повествуют греческие легенды. Ярчайшая звезда — Гамаль, что по-арабски значит «подросший ягнёнок».



Овен.

Октант. Это созвездие введено Лакайлем. В нём лежит южный полюс мира, но, к сожалению, нет ярких звёзд.

Орёл. Красивое созвездие, которое легко распознать по трём ярким звёздам, расположенным почти по одной прямой на шее, спине и левом плече фигуры Орла. Две звезды «хвоста» Орла лежат в западной ветви Млечного Пути.

Ещё пять тысячелетий назад шумеры называли это созвездие Орлом. Греки видели в нём орла, посланного



Зевсом, чтобы похитить прекрасного царевича Ганимеда и доставить его на Олимп; по одной из версий этого мифа, в орла превратился сам Зевс. Имя ярчайшей звезды — Альгаир — по-арабски означает «летающий ястреб». В 7° к югу от Альгаира расположена классическая переменная звезда-цефеида η Орла, изменяющая свой блеск от 3,69 до 4,40 звёздной величины с периодом 7,2 суток.

Орион. Самое замечательное созвездие нашего неба. Оно занимает большую площадь и легко узнаваемо. В расположении его ярких звёзд угадывается фигура охотника, к юго-востоку от которой сияет голубой Сириус, а к северо-западу — красный Альдебаран. В греческой мифологии Орион — сын Посейдона и Эвриалы, великий охотник.

Бетельгейзе (α Ориона) — красный сверхгигант со светимостью в 15 тыс. раз больше солнечной — представляет собой переменную звезду, её блеск меняется от 0,4 до 1,3 звёздной величины с периодом около 6 лет. Ригель (β Ориона) немного ярче, чем Бетельгейзе. У этой изумительной бело-голубой звезды светимость в 80 тыс. раз выше солнечной. Древние египтяне связывали Ригель с Сахом — царём звёзд и покровителем умерших, а позже — с Осирисом.

Самый интересный объект в созвездии — Большая туманность Ориона (M 42), лежащая ниже Пояса из трёх звёзд и удалённая от нас при-

мерно на 1000 световых лет. Это лишь незначительная, нагретая молодыми звёздами часть огромного облака, где формируются звёзды. Основные процессы, приводящие к рождению звёзд, протекают в недрах гигантских и очень холодных (-250°C) газовых облаков, занимающих почти всё созвездие Орион. Широко известна также тёмная туманность Конская Голова вблизи ζ Ориона, восточной звезды Пояса.



Павлин. Южное созвездие; введено Байером.

Паруса. Созвездие выделено из Корабля Арго. Лежит между Кентавром и Кормой. Его южная граница проходит по самым богатым звёздами областям Млечного Пути.

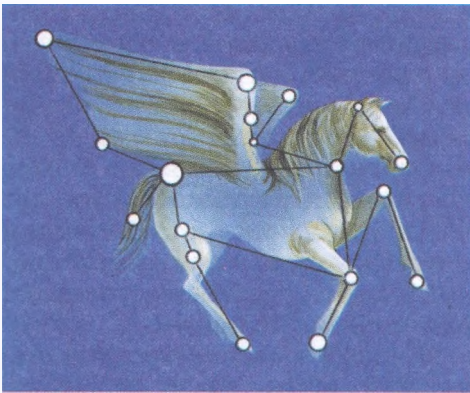
Пегас. Этот «летающий конь» расположен к юго-западу от Андромеды и вместе с α Андромеды образует легко узнаваемый Большой Квадрат.

Вавилоняне и древние греки называли его просто Конём; имя Пегас впервые появляется у Эратосфена. Оно связано с греческой легендой о герое Беллерофонте, который получил от богов крылатого коня Пегаса, взлетел на нём и убил крылатое чудовище Химеру.

► Орион.

Светлые и тёмные туманности в созвездии Орион.





Персей. Расположен в Млечном Пути к востоку от Андромеды. По греческому мифу, Персей спас Андромеду от морского чудовища.

Очень интересна затменная переменная звезда Алголь (β Персея), что по-арабски значит «звезда дьявола». Это сложная система из трёх или четырёх звёзд, две из которых с периодом 2,87 суток затмевают друг друга; в такие моменты блеск звезды уменьшается от 2,06 до 3,28 звёздной величины. Первым это затмение обнаружил 8 ноября 1670 г. профессор Джеминиано Монтанари из Модены (Италия).

Печь. Экваториальное созвездие; введено Лакайлем под именем Химическая Печь.

Райская Птица. Это южное созвездие впервые появилось в атласе Байера.

Рак. Самое неприметное созвездие зодиака, которое можно увидеть лишь в ясную ночь между Львом и Близнецами. Согласно мифу, рак ущипнул Геракла за ногу, когда тот сражался с гидрой; Геракл раздавил рака, позже Гера поместила его на небо.

В созвездии Рака можно обнаружить неяркую, но симпатичную звёздную группу: это Ослы (γ и δ Рака), а между ними их кормушка — Ясли, рассеянное звёздное скопление М 44. Оно подобно Плеядам, но расположено в несколько раз дальше. По-

этому невооружённому глазу Ясли представляются туманной звёздочкой, а в бинокль видно, что это звёздное скопление. Другое скопление — М 67 — лежит на 2° к западу от α Рака. Это одно из старейших рассеянных скоплений, находящееся высоко над плоскостью Галактики.

Резец. Этот «инструмент гравёра» вознесён на южное небо Лакайлем. Все звёзды в нём слабые.

Рыбы. Созвездие лежит в зодиаке между Водолеем и Овном. Обычно его делят на Северную Рыбу (под Андромедой) и Западную Рыбу (между Пегасом и Водолеем).

Рысь. Современное созвездие, введённое Гевелием. Лежит между Большой Медведицей и Возничим, к северо-востоку от Близнецов. Содержит исключительно слабые звёзды.

Северная Корона. Созвездие, расположенное между Волопасом и Геркулесом, в древности называлось просто Коронай или Венцом. Это самое красивое из маленьких созвездий. Семь сравнительно ярких звёзд образуют незамкнутое кольцо, поэтому арабы называли эту группу звёзд аль-Факка — «разорванная». Теперь это имя носит ярчайшая звезда созвездия — Альфекка. В Северной Короне несколько известных переменных звёзд. Среди них вспыхивающая новоподобная звезда Т Северной Короны и её антипод — R Северной Короны, время от времени демонстрирующая резкое понижение блеска.

Секстант. Созвездие введено Гевелием под названием Небесный Секстант (в честь его любимого астрономического прибора, сгоревшего вместе с обсерваторией в 1679 г.). Расположено к югу от Льва.

Сетка. Созвездие введено Лакайлем как Ромбоидальная Сеть; лежит к западу от Золотой Рыбы.

Скорпион. Зодиакальное созвездие, расположенное между Стрельцом и Весами целиком в Млечном

◀
Пегас.



Скорпион.

Пути. Согласно Арату, Орион повздорил с богиней-охотницей Артемидой; разгневанная, она послала скорпиона, чтобы тот убил юношу. Арат пишет: «Когда Скорпион поднимается на востоке, Орион спешит скрыться на западе». В созвездие Скорпион Солнце входит 22 ноября и покидает его 27 ноября, когда на 20 дней переходит в незодиакальное созвездие Змееносец. Очевидно, вместо Скорпиона в зодиаке следовало бы быть Змееносцу!

Антарес (α Скорпиона) по-гречески значит «соперник Ареса» (Марса). Эта яркая красная звезда действительно очень похожа на Марс. Антарес — необычайно красивая визуальная двойная звезда, у которой более яркий компонент красный, а менее яркий — зеленоватый. Созвездие содержит много туманностей и звёздных скоплений.

Скульптор. Созвездие введено Лакайлем под именем Мастерская Скульптора. В нём находится южный полюс Галактики.

Столовая Гора. Созвездие введено Лакайлем в честь места на мысе Доброй Надежды, где он производил наблюдения. Лежит к югу от Золотой Рыбы. В этом созвездии нет звёзд ярче 5-й звёздной величины, но зато в нём частично расположена галактика Большое Магелланово Облако.

Стрела. Маленькое изящное созвездие к северу от Орла. Эратосфен считал, что это стрела, использованная Аполлоном в сражении с одноглазыми великанами-циклопами.

Стрелец. Зодиакальное созвездие, особенно красивое в той его части, которая лежит в Млечном Пути. Греческий миф связывает его с кентавром Кротосом, слывшим прекрасным охотником.

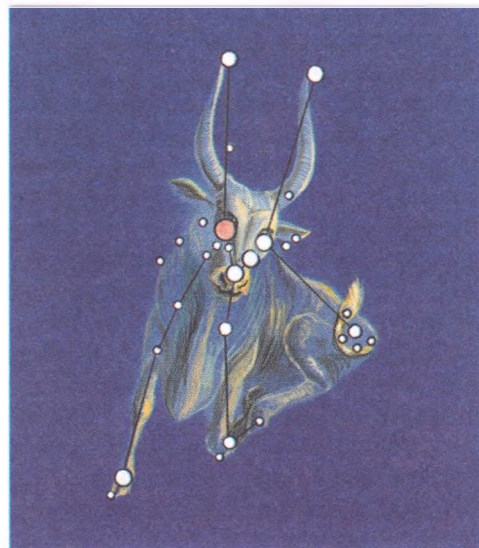
В направлении Стрельца находится центр нашей Галактики, скрытый от нас межзвёздной пылью. В этом созвездии множество шаровых скоплений, тёмных и светлых туманностей (например, Тройная туманность М 20).

Телескоп. Созвездие введено Лакайлем; лежит к югу от Стрельца.

Телец. Зодиакальное созвездие к северо-западу от Ориона. Миф утверждает, что Телец — это белый бык, в которого обратился Зевс, чтобы похитить дочь финикийского царя Европу; на нём она переплыла море и попала на Крит.

Ярко-красную звезду α Тельца часто называют Воловий Глаз. Её арабское имя Альдебаран, т. е. «идущая вслед», так как она движется по небу за Плеядами — прекрасным рассеян-

►
Телец.





ным скоплением, в котором зоркий глаз различает шесть или даже семь звёзд. Все они получили имена дочерей титана Атланта и океаниды Плейоны. По-гречески Плеяды и значит «дочери Плейоны».

Рядом с Плеядами есть ещё одно молодое скопление — Гиады (по мифу, сёстры Плеяд) — широкая группа неярких звёзд, окружающая Альдебаран. Для астрономов это наиболее ценное звёздное скопление: оно расположено всего в 40 пк (132 световых года) от Солнца и позволяет изучать себя во всех деталях. Из-за близости к нам Гиады занимают на небе огромную площадь в 400 квадратных градусов, которую могли бы покрыть только 2 тыс. лунных дисков! Альдебаран не входит в скопление Гиады, этот красный гигант вдвое ближе к нам.



Треугольник. Маленькое древнее созвездие, лежащее юго-восточнее Андромеды. Важнейший объект в нём — спиральная галактика М 33, член Местной группы галактик, как и туманность Андромеды (М 31). Обе они расположены симметрично относительно звезды β Андромеды и находятся от нас на расстоянии 2 млн световых лет. Но в отличие от туманности Андромеды, наблюдаемой почти с ребра, галактика М 33 развёрнута к нам своей плоскостью.

Тукан. Созвездие выделено Байером; лежит к югу от Журавля и Феникса. В нём видны соседняя с нами галактика Малое Магелланово Облако и изумительной красоты шаровое скопление 47 Тукана.

Феникс. Южное созвездие; введено Байером.

Хамелеон. Южное созвездие; введено Байером.

Центавр. См. Кентавр.

Цефей (Кефей). Это имя мифического эфиопского царя, супруга Кассиопеи, отца Андромеды. Созвездие расположено между Кассиопеей и Малой Медведицей; ярких звёзд в нём нет.

Большой класс пульсирующих переменных звёзд-цефеид назван так по имени звезды δ Цефея. Её блеск изменяется от 3,8 до 4,6 звёздной величины с периодом 5,4 суток. К тому же она симпатичная визуальная двойная. А VV Цефея — самая большая среди известных нам звёзд; это двойная затменная переменная система, главный компонент которой в 2 тыс. раз больше Солнца.

Циркуль. Маленькое созвездие южного неба, введённое Лакайлем. α Циркуля — великолепная визуальная двойная.

Часы. Созвездие введено Лакайлем; лежит к югу от Эридана в виде узкой длинной полосы. Ярких звёзд не содержит.

Чаша. Небольшое созвездие к западу от Ворона.

Щит. Созвездие введено Гевелием под именем Щит Собеского — в честь знаменитого полководца, польского короля Яна Собеского. Лежит в Млечном Пути между Орлом, Стрельцом и восточной Змеей. Ярких звёзд в нём нет, но с помощью небольшого телескопа в 2° к юго-востоку от звезды β Щита можно наблюдать прекрасное рассеянное скопление М 11.

Эридан. Небесная «река»; лежит к западу от Ориона. У разных народов

◀ Созвездия
Орион и Телец
на зимнем небе.



отождествлялась с Евфратом, Нилом и По. Эридан начинается вблизи Ригеля, «течёт» на юго-запад и заканчивается звездой α Эридана по имени Ахернар, что по-арабски как раз и означает «конец реки».

Южная Гидра. Это созвездие называют также Водяной Змеей; введено Байером.

Южная Корона. Впервые под этим именем созвездие описано в «Альмагесте» Птолемея. Расположено к юго-западу от Стрельца.

Южная Рыба. Небольшое созвездие к югу от Водолея и Козерога. Имя ярчайшей звезды — Фомальгаут — переводится с арабского как «рот южной рыбы», но сами арабы называли

эту звезду «первая лягушка» («второй лягушкой» была β Кита).

Южный Крест. Созвездие было выделено Байером из Кентавра. Лежит в южном Млечном Пути. Четыре яркие звезды (α , β , γ и δ) образуют крест, причём линия от γ к α указывает на южный полюс мира. Между α и β на фоне Млечного Пути виден тёмный провал — это газопылевая туманность Угольный Мешок.

Южный Треугольник. Введён Байером. Лежит в Млечном Пути к югу от Наугольника.

Ящерица. Это созвездие впервые появилось в звёздном атласе Гевелия; расположено между Лебедем и Андромедой.

ЗВЁЗДНОЕ НЕБО РАЗНЫХ ШИРОТ

При хороших условиях наблюдения невооружённым глазом на небе видно одновременно около 3 тыс. звёзд, независимо от того, где мы находимся — в Индии или в Лапландии. Но картина звёздного неба зависит как от широты места, так и от времени наблюдения.

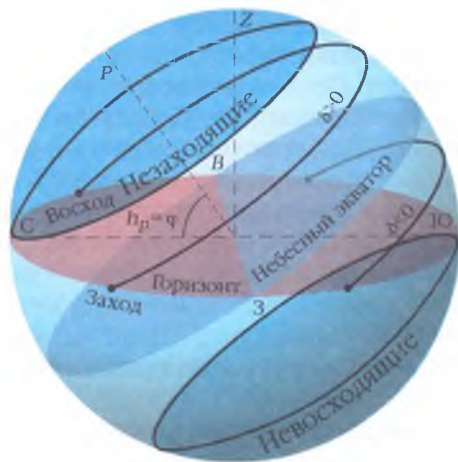
Теперь предположим, что мы решили выяснить: сколько же всего звёзд можно увидеть, скажем, не

выезжая из Москвы. Пересчитав те 3 тыс. светил, которые в данный момент находятся над горизонтом, сделаем перерыв и вернёмся на наблюдательную площадку через час. Мы увидим, что картина неба изменилась! Часть звёзд, находившихся у западного края горизонта, опустилась под горизонт, и теперь их не видно. Зато с восточной стороны поднялись новые светила. Они пополняют наш список.

В течение суток звёзды описывают на небе круги с центром в полюсе мира (см. статью «Адреса светил на небе»). Чем ближе к полюсу звезда, тем круг меньше. Может оказаться так, что весь круг лежит над горизонтом: звезда никогда не заходит. К таким *незаходящим* звёздам в наших широтах относится, например, Ковш Большой Медведицы. Как только стемнеет, мы сразу найдём его на небе — в любое время года.

Другие светила, более удалённые от полюса, как мы убедились, восходят в восточной стороне горизонта

Суточные параллели светил в средних широтах.



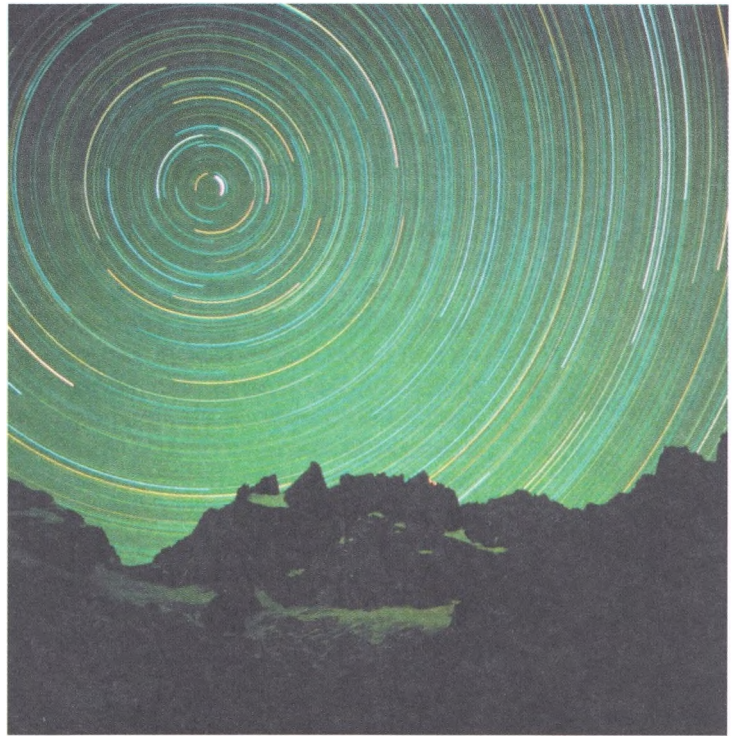


и заходят в западной. Те, что расположены вблизи небесного экватора, восходят вблизи точки востока и заходят возле точки запада. Восход некоторых светил южного полушария небесной сферы наблюдается у нас на юго-востоке, а заход — на юго-западе. Они описывают невысокие дуги над южным горизонтом.

Чем южнее звезда на небесной сфере, тем короче её путь над нашим горизонтом. Следовательно, ещё дальше к югу имеются *невосходящие* светила, суточные пути которых полностью лежат под горизонтом. Что же нужно сделать, чтобы увидеть их? Двигаться на юг!

В Москве, например, можно наблюдать Антарес — яркую звезду в созвездии Скорпион. «Хвост» Скорпиона, опускающийся круто к югу, в Москве никогда не виден. Однако стоит нам переместиться в Крым — на десяток градусов широты южнее — и в летнее время над южным горизонтом можно будет разглядеть всю фигуру небесного Скорпиона. Полярная же звезда в Крыму располагается гораздо ниже, чем в Москве.

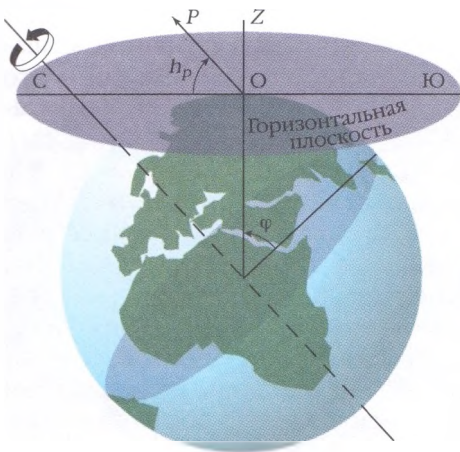
Напротив, если из Москвы двинуться на север, Полярная звезда, вокруг которой ведут свой хоровод остальные светила, будет подниматься всё выше и выше. Есть теорема, точно описывающая эту закономер-



ность: **высота полюса мира над горизонтом равна географической широте места наблюдения.** Остановимся на некоторых следствиях, вытекающих из этой теоремы.

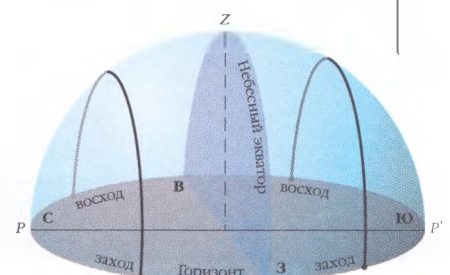
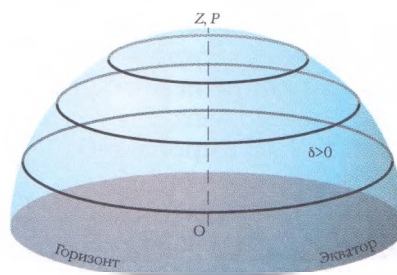
Представим, что мы попали на Северный полюс и оттуда наблюдаем звёзды. Наша широта 90° ; значит, полюс мира имеет высоту 90° , т. е. расположен в зените, прямо у нас

Суточные дуги светил. Полярная область неба.



Высота полюса мира над горизонтом равна географической широте места наблюдения ($h_p = \varphi$).

Суточные параллели светил на полюсе (слева) и на экваторе.





над головой. Светила описывают суточные круги вокруг этой точки и движутся параллельно горизонту, с которым совпал небесный экватор. Ни одно из них не восходит и не заходит. Доступны наблюдению лишь звёзды северного полушария небесной сферы, т. е. примерно половина всех светил небосвода.

Вернёмся в Москву. Теперь широта около 56° . «Около» — потому что Москва вытянута с севера на юг почти на 50 км, а это чуть ли не полградуса. Высота полюса мира 56° , он расположен в северной части небосвода. В Москве уже можно видеть некоторые звёзды южной полусферы, а именно те, у которых склонение (δ) превосходит -34° . Среди них много ярких: Сириус ($\delta = -17^\circ$), Ригель ($\delta = -8^\circ$), Спика ($\delta = -11^\circ$), Антарес ($\delta = -26^\circ$), Фомальга-

ут ($\delta = -30^\circ$). Звёзды со склонением больше $+34^\circ$ в Москве никогда не заходят. Звёзды южной полусферы со склонением ниже -34° являются невозходящими, их наблюдать в Москве невозможно.

Перенесясь на экватор (широта 0°), мы обнаружим, что полюс мира расположился на горизонте, а в противоположной точке горизонта появился и другой полюс мира. Половина суточной параллели любого светила лежит над горизонтом, и следовательно, оно в принципе наблюдаемо. Именно находясь на экваторе, мы могли бы насчитать все 6 тыс. разных звёзд, которые доступны наблюдению невооружённым глазом. И нет такой звезды, которая там не поднималась бы над горизонтом.

ЗВЁЗДНОЕ НЕБО ЧЕТЫРЁХ СЕЗОНОВ В СРЕДНИХ ШИРОТАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Каждый любитель астрономии мечтает хоть ненадолго стать космонавтом. И дело тут вовсе не в романтическом рокете двигателей ракет или удивительном состоянии невесомости. Его манит небо, которое целиком доступно наблюдению лишь за пределами атмосферы, вдали от Земли.

Две причины мешают нам, жителям Земли, видеть звёздное небо в любой момент и в любом направлении. Во-первых, это атмосфера, которая ярко светится днём из-за рассеянного воздухом солнечного света. Пока Солнце не опустится под горизонт и его лучи не перестанут освещать плотные слои воздуха, слабый блеск звёзд на небе просто незаметен. Если бы Земля не обращалась вокруг Солнца, мы никогда не смогли бы увидеть звёзды в той части неба, где располагается дневное светило.

Но вследствие орбитального движения Земли в разные сезоны по ночам нам открываются различные участки небесной сферы. Те звёзды, которые летом находятся на дневной стороне неба и поэтому не видны, зимой становятся доступны для ночных наблюдений.

Но есть и вторая причина, мешающая земному наблюдателю, — это сам земной шар, постоянно закрывающий от нас часть небесной сферы. Благодаря вращению Земли мы всё же можем увидеть различные области неба. Причём если наблюдатель находится на экваторе, то за сутки перед ним проходит весь небосвод; а вот вблизи одного из полюсов, сколько ни вертись, больше половины неба не увидишь. В средних широтах наблюдению доступно около 80 % небесной сферы.



Каждое время года по-своему интересно для астрономических наблюдений. В наших довольно высоких широтах от сезона зависит не только то, какая часть небесной сферы доступна наблюдениям, но также продолжительность ночи и погода. Хотя длинные зимние ночи позволяют увидеть почти все светила — от осенних ранним вечером до весенних под утро, холодная и облачная погода сильно затрудняет наблюдения. Летние же ночи слишком коротки для детального изучения неба. Поэтому многие наблюдатели предпочитают раннюю осень или позднюю весну. Впрочем, для настоящего любителя астрономии любой сезон хорош.

Часто любители астрономии начинают знакомство со звёздным небом весной. После долгих зимних вечеров, когда прочитаны увлекательные книги о космосе, погода наконец-то становится тёплой, а небо чистым — самое время брать в руки звёздную карту и отправляться в путешествие по созвездиям.

ВЕСЕННЕЕ НЕБО

Весной небо тёмное: на нём не видно Млечного Пути и ярких звёзд немного. В северной его части высоко над горизонтом висит перевернутый

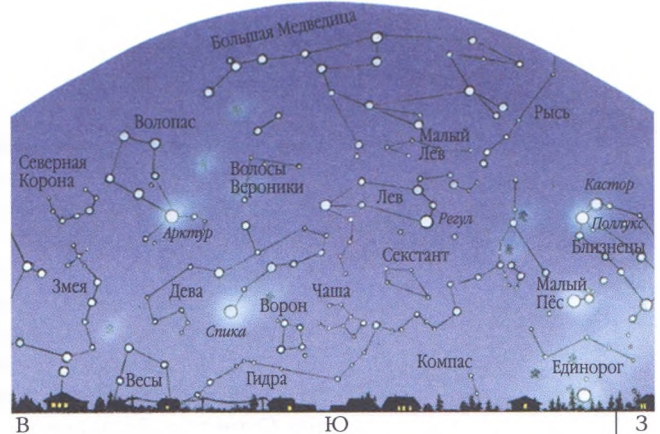
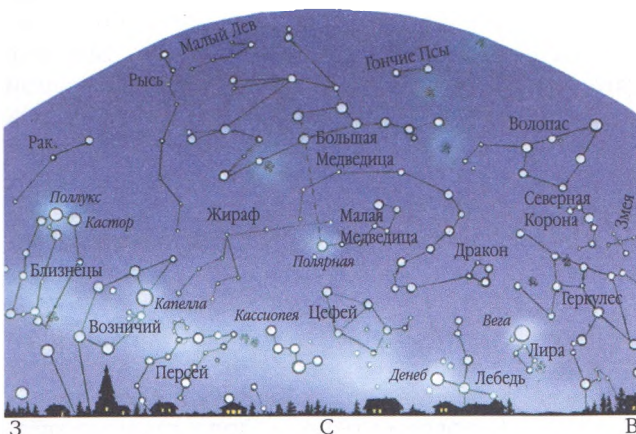
Ковш Большой Медведицы. «Ручка» Ковша указывает вправо, в сторону Волопаса, увенчанного оранжевым Арктуром (самой яркой из весенних звёзд). Ещё правее и ниже, на юго-востоке, — голубоватая Спика в созвездии Дева. Высоко на юге «лежит» Лев с ярким Регулом в передних лапах. Над ним небольшое созвездие Малый Лев, а между Волопасом и Львами — обширная область неба, лишённая ярких звёзд: это Гончие Псы и Волосы Вероники. Вместе с Большой Медведицей и Девой они являются излюбленными объектами исследователей далёкой Вселенной, так как в этом направлении наблюдаются богатые скопления галактик.

В начале вечера можно увидеть заходящие на западе Плеяды и богатые яркими звёздами зимние созвездия Телец и Орион, а в конце ночи полюбоваться на восходящие на востоке летние созвездия Лебедь, Лира и Орёл.

В чём же основное достоинство весеннего неба? Если в остальные сезоны мы видим главным образом нашу Галактику, то весной — другие, далёкие галактики. Дело в том, что летом и осенью высоко на небосводе поднимается Млечный Путь, простирающийся от Персея до Стрельца. Зимой он всё ещё хорошо виден: от Андромеды, через Персея и Возничего, между Близнецами и Орио-

Весеннее небо.
Северная сторона
горизонта.

Весеннее небо.
Южная сторона
горизонта.





З

С

В



В

Ю

З

▲ Летнее небо.
Северная сторона
горизонта.

▲▲ Летнее небо.
Южная сторона
горизонта.

ном — вниз, к Большому Псу. Млечный Путь — это диск нашей звёздной системы. Он заполнен сравнительно молодыми звёздами, межзвёздным газом и пылью. Именно межзвёздная пыль закрывает от нас далёкое межгалактическое пространство. А вот к весне Млечный Путь становится не виден и в любом направлении взор наблюдателя устремляется в межгалактические дали.

К сожалению, без хорошего бинокля эти дали не разглядеть. Но если он у вас есть, вы можете попробовать заняться внегалактической астрономией.

ЛЕТНЕЕ НЕБО

На южной стороне летнего неба доминирует осенне-летний треугольник — Вега (α Лиры), Денеб (α Лебеда) и Альтаир (α Орла). Гигантский крест Лебеда, развёрнутый вдоль Млечного Пути, легко найти на небе. К западу от треугольника видны Геркулес и Северная Корона; ещё дальше — Волопас с оранжевым Арктуром. На юге, низко у горизонта, раскинул клешни Скорпион с ярко-красным Антаресом, а слева от него — Стрелец, Козерог и Водолей. Под Лебедем нетрудно отыскать маленькие, но очень изящные созвездия Стрела и Дельфин.

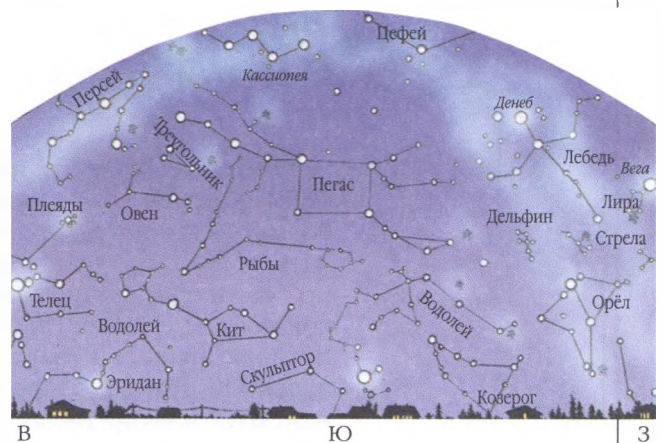
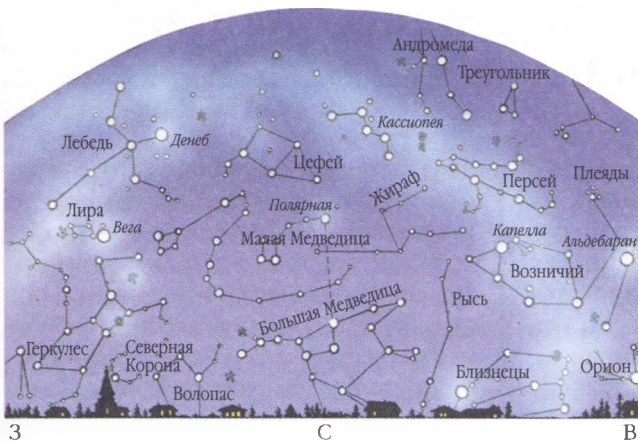
В северной части неба в это время почти на одинаковой высоте видны Кассиопея и Большая Медведица. Между ними высоко поднялись Дракон и Цефей.

Глядя на летнее небо, мы видим центральную область нашей Галактики (в созвездии Стрелец) с большим количеством шаровых звёздных скоплений, а также наблюдаем мощные спиральные ветви Галактики (например, в созвездии Лебедь), заполненные газовыми туманностями и молодыми, нередко переменными, звёздами.

ОСЕННЕЕ НЕБО

Осенними вечерами в южной части неба хорошо виден Большой Квадрат, образованный тремя восточными звёздами Пегаса (α , β , γ) и западной звездой Андромеды (α). Вместе с цепочкой звёзд Андромеды Большой Квадрат напоминает сильно увеличенную Малую Медведицу. К востоку, ниже Андромеды, видны две яркие звезды Овна. Между Андромедой и Овном лежит малоприметное созвездие Треугольник, а к югу от Пегаса — Рыбы и Водолей.

В начале вечера в юго-западной части неба на фоне Млечного Пути ещё можно наблюдать Лебеда, Лиру и совсем низко — Орла, главные звёз-



ды которых образуют осенне-летний треугольник. Между Лебедем и Орлом нетрудно заметить созвездия Стрела и Дельфин. Правее Лире виден Геркулес.

Около зенита располагается Кассиопея, а к северу от неё — Цефей. Ковш Большой Медведицы лежит в «нормальном» положении вблизи северного горизонта. Слева от него — Волопас и Северная Корона, справа — Возничий, а выше — Персей.

ЗИМНЕЕ НЕБО

Небо января богато яркими звёздами. На юге доминирует Орион: его фигуру с тремя звёздами в Поясе трудно не узнать. Выше и правее Ориона — Телец с красным Альдебара-

раном в центре. Над Орионом, почти в зените, располагается Возничий, левее и выше — Близнецы, а под ними — Малый Пёс с Прочионом и Большой Пёс с великолепным ярчайшим Сириусом. На северо-западе склоняется к горизонту Андромеда и заходит Пегас. Над Андромедой видны Кассиопея и Цефей. В юго-восточной части неба находится Лев, а на востоке поднимается Волопас с ярким оранжевым Арктуром. Высоко на востоке — Большая Медведица и Гончие Псы.

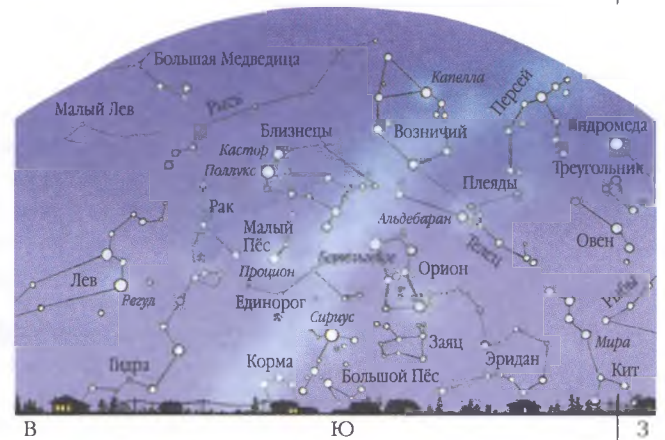
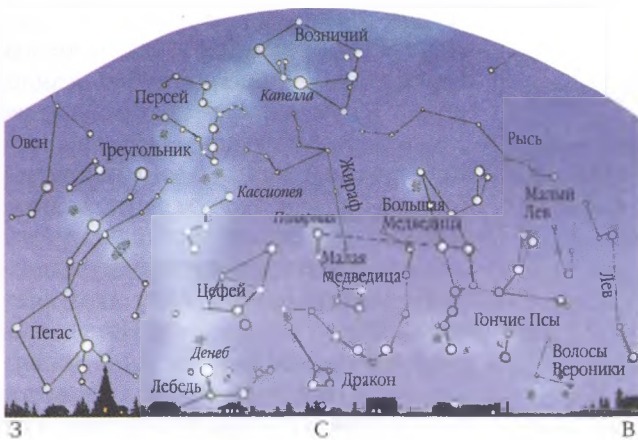
Зимой эклиптика поднимается высоко над горизонтом, и поэтому нет лучшего времени для наблюдения Луны и планет. Вообще длинные зимние ночи благоприятствуют астрономическим наблюдениям, если, конечно, небо чистое.

▲ Осеннее небо.
Южная сторона
горизонта.

◀▲ Осеннее небо.
Северная сторона
горизонта.

Зимнее небо.
Северная сторона
горизонта.

◀▼ Зимнее небо.
Южная сторона
горизонта.





ИГРА С ВОЛЧКОМ, ИЛИ ДЛИННАЯ ИСТОРИЯ С ПОЛЯРНЫМИ ЗВЁЗДАМИ

Забудем пока о звёздах и вернёмся к старым игрушкам — к музыкальному волчку. Если его аккуратно раскрутить, то он стоит на полу ровно, как по струнке, ручкой смотрит в потолок, поёт и не бежит. Но если ударить по краю нашего кубаря прутиком, палочкой, сбить его с ровного стояния, волчок накренился и, не желая падать, пойдёт танцевать конусом, а ручка-ось начнёт выписывать круги. Такое круговое покачивание оси вращения физики называют *прецессией*.

Наша Земля тоже вертушка и, как все нормальные волчки, пока их не трогают, готова вечно крутиться, постоянно указывая своей осью на Полярную звезду. Но и на неё нашлись прутик и палочка — это Луна и Солнце. Своим притяжением они стремятся повернуть ось планеты, а Земля этому сопротивляется и... прецессирует. Волчок делает несколько

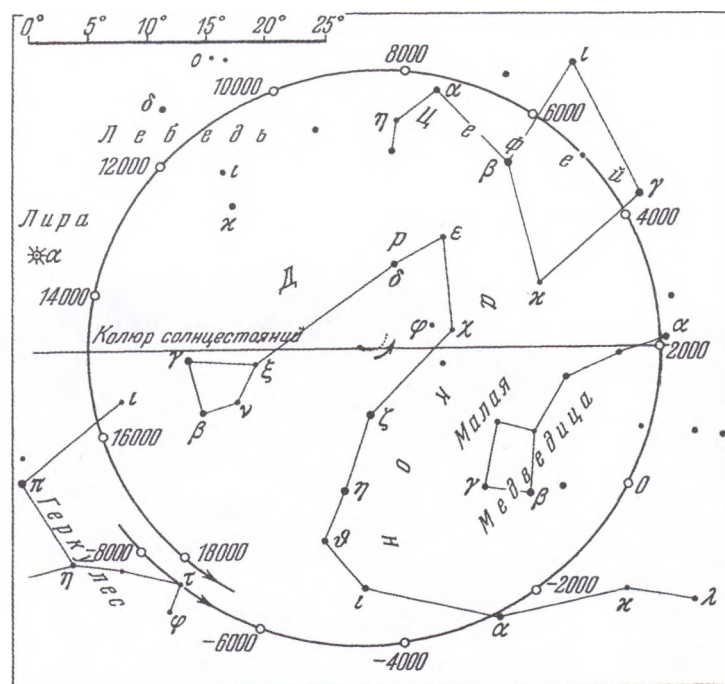
десятков оборотов в секунду вокруг оси и один прецессионный круг за несколько секунд. Земля совершает 365 оборотов в год и прецессионный тур за 26 тыс. лет. При этом её ось описывает среди созвездий окружность радиусом $23,5^\circ$ с центром в полюсе эклиптики, а этот полюс находится в созвездии Дракон.

Цикл прецессии земной оси издавна назывался *платоническим годом* (тем самым древние астрономы отдали дань уважения Платону, который ещё в IV в. до н. э. утверждал, что «существуют кроме земного другие годы»). За такой год полюс мира прогуливается по шести созвездиям: Малой Медведице, Цefeю, Лебедю, Лире, Геркулесу и Дракону, «выбирая» из дюжины попутных звёзд на должность очередной полярной ту или иную звезду, желательно поярче.

Если полюс мира гуляет по созвездиям, значит, вместе с ним изменяют своё положение среди звёзд и небесный экватор, и точка весеннего равноденствия, от которой астрономы отсчитывают небесные координаты. Во II в. до н. э. Гиппарх измерил координаты около 900 звёзд, составил звёздный каталог, а потом сличил свои наблюдения с каталогом столетней давности. Гиппарх обнаружил, что координаты звёзд немного поменялись, словно всё небо съехало набок. Так была открыта прецессия.

А теперь представим себе, что летним вечером, когда в зените светит Вега, мы каким-то чудом наклоним небо так, что Вега спустится на треть небосвода к северу и встанет на место Полярной звезды. При этом вид неба сильно изменится. Из-за южного горизонта выберется Кентавр с Волком на копье, а в его копытах мы увидим Южный Крест. Кентавр

Смещение полюса мира вследствие прецессии. В настоящее время северный полюс мира находится вблизи звезды α Малой Медведицы.





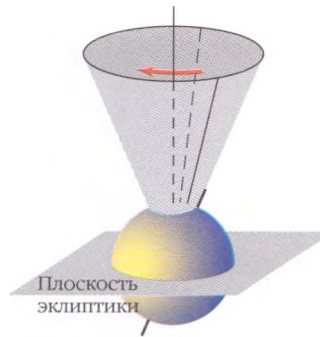
и Южный Крест над Русской равниной?! Да, всё так и было в конце XIII тысячелетия до новой эры, когда полярной звездой была **Вега**.

Это было благодатное время — начало отступления на север последнего оледенения Евразии. Там, где сейчас Центральная Россия, лежали километровые толщи льдов. Мамонты, шерстистые носороги, медведи, даже северные олени разгуливали у кромки льдов на юге нынешней Франции, в Италии, под Краснодаром и Кисловодском. Там же обитал и человек-охотник. Был верхний палеолит, конец эпохи древнего каменного века. Семьи отсиживались в дымных пещерах, а охотники кочевали вслед за добычей. Ночами в любое время года над бескрайней ледяной пустыней, не сходя со своего места, им светила голубая Вега — самая яркая звезда неба, потому что Сириус в то время в Европе вовсе не восходил.

Мы не знаем доподлинно, умели ли эти люди ориентироваться по полярной Веге. (Вероятно, да, потому что стороны горизонта они различали уже 50 тыс. лет назад.) Но десятки тысяч лет ночёвок наших предков у костра под звездным небом навсегда остались в душах всех людей. С тех пор огонь и звёзды от рождения притягивают и волнуют человека. А древние охотники, Орионы и Аркады каменного века, сидели у костра в окружении верных Псов, смотрели на Вегу и мечтали: скорее бы закончился верхний палеолит.

Действительно, древний каменный век уж очень затянулся. С тех пор как человек умелый стал человеком разумным, Вега уже в пятый раз заступила на пост полярной и по пять раз были полярными **α Малой Медведицы** и **Денеб**. И ледники то приходили, то отступали, а каменному веку нет конца...

Впрочем, дальше история пошла побыстрее. В IX тысячелетии до н. э. настолько потеплело, что люди добра-



Прецессия земной оси.

лись до Скандинавии и Шотландии. Началась эпоха среднего каменного века — мезолит, а полярными тогда поочерёдно становились **π** и **η Геркулеса**.

Полярная звезда **τ Геркулеса** (VIII—VII тысячелетия до н. э.) возвестила наступление неолита — нового каменного века. Возникло скотоводство, начали пахать на быках, появились отличные топоры из отшлифованного камня. Вот когда на небе могли поселиться Волопас, Овен, Телец!

Под полярной звездой **ι Дракона** (5500—3500 гг. до н. э.) были изобретены колесо и повозка, а с ними, наверное, и Возничий. Эпоха первых астрономических наблюдений у шумеров, египтян, майя.

Тубан, или **α Дракона** (3500—1500 гг. до н. э.). По этому случаю шумеры срочно придумали созвездие Дракона. Эра письменности, эра материалоёмких египетских пирамид и «компактного» каменного компьютера фирмы «Стонхендж», запрограммированного на вычисление затмений. Появились скаковая лошадь Пегас и Кентавр и первые укротители коней. У греков это были Близнецы-Диоскуры.

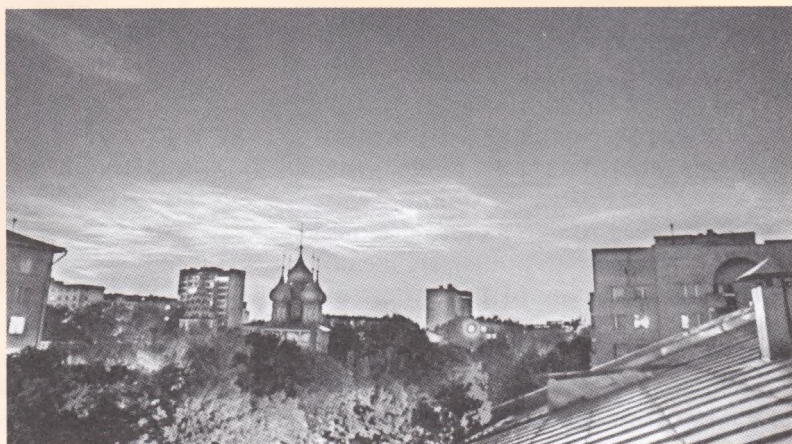
Финикийская звезда **Кохаб**, **β Малой Медведицы** (1500 г. до н. э. — 1 г. н. э.) — полярная звезда времён осады Трои и Гомера. Фалес из Милета, первый европейский астроном, назвал её Полярной. Он же примерно в 600 г. до н. э. выделил созвездие



ЭТИ ЗАГАДОЧНЫЕ НОЧНЫЕ ОБЛАКА

Вечером 25 июня 1989 г. в северо-западной части московского неба появились еле заметные светящиеся полосы облаков. На первый взгляд они мало чем отличались от лёгкой вечерней облачности. Лишь цвет облаков был несколько необычен. От них исходило слабое бело-голубое сияние, напоминавшее призрачный свет Луны... Через час светящиеся облака ровными полосками, струями и грядами заполнили почти всю северную часть небосклона. Чуть восточнее и выше они висели в виде клочьев светящейся массы, ажурно переходящей в изящные гребешки, которые закручивались в замысловатые спирали. При этом они казались совершенно неподвижными. Лишь через 10–15 мин наблюдений можно было заметить, что картина этой небесной феерии почти полностью сменилась.

А вот как описал это явление в 1885 г. один из первых его исследователей, русский астроном Витольд Карлович Цераский: «Облака эти ярко блистали на ночном небе чистыми, белыми, серебристыми лучами, с лёгким голубоватым отливом, принимая в непосредственной близости от горизонта жёлтый, золотистый оттенок. Были случаи, что от них делалось светло, стены зданий весьма заметно озарялись, и неясно видимые предметы резко выступали. Иногда облака образовывали слои или пласты, иногда своим видом похожи были на ряды волн или



Серебристые облака.

напоминали песчаную отмель, покрытую рябью или волнистыми неровностями...»

Серебристые (мезосферные) облака являются самыми высокими облачными образованиями: они наблюдаются на высоте 75–95 км. В отличие от привычных нам тропосферных облаков они располагаются в зоне активного взаимодействия атмосферы Земли с космическим пространством. Хотя название «ночные светящиеся облака» наиболее точно отвечает их внешнему виду, правильнее серебристые облака отнести к разряду сумеречных явлений, так как чаще всего их наблюдают именно в гражданские и навигационные сумерки. Солнце, опустившись под горизонт на 3–16°, ещё освещает верхние слои атмосферы, создавая эффект облаков, светящихся на тёмном небе. Как правило, их видят в летние месяцы (май — сентябрь) на широтах 45–70°, причём наибо-

Малая Медведица. Звезду на кончике «хвоста» Малой Медведицы он назвал Киносурой. В эту же эпоху Гиппарх понял, что любая полярная не вечно ею остаётся.

Стражи (1—1100 гг.) — так называли Кохаб и Киносуру, когда полюс мира оказался между ними. Потом Киносура стала Полярной, и стражами объявили β и γ Малой Медведицы.

Полярная, α Малой Медведицы (1100—3200 гг.). Даже Коперник в 1543 г. ещё не называл её Полярной. Она и сейчас только приближается

к полюсу мира и пройдет мимо него в 27' в 2102 г.

В 3200 г. Полярная должна уступить своё звание последовательно трем звездам Цефея: γ (**Альрану**) до 5000 г., β (**Альфарку**) до 6500 г. и α (**Альдерамину**) до 8500 г. Затем ось Земли укажет на Лебедя, и полюсом неба будут править **Денеб** и **Садр** (γ Лебедя). И снова **Вега** встанет близ полюса мира, в 13000 г., в шестой раз на памяти «человека разумного».

Такая вот неспешная история у этих полярных звёзд.



лее часто на широте 56° (широта Москвы). На этих широтах облака появляются в среднем от 9 до 20 раз за сезон. Так, в 1981 г. в Москве они наблюдались восемь ночей подряд, с 8 по 16 июля. Время существования отдельных облаков также подвержено значительным колебаниям: от 10 мин до 5 ч.

Наблюдения показывают, что на широте 56° серебристые облака чаще всего появляются в период с третьей декады июня по вторую декаду июля, тогда их обширные поля занимают площади до нескольких миллионов квадратных километров. Кроме того, существуют многолетние вариации их интенсивности, связанные с солнечной активностью.

Ракетные эксперименты, выполненные в 1980-х гг. в Швеции, дали интересную информацию о составе серебристых облаков. На высотах 80–94 км обнаружен слой «тяжёлых» положительных ионов, присутствие которых указывает на возможность образования ледяных частиц при сравнительно слабых колебаниях температуры. Облака, состоящие из подобных ледяных частиц, могут быстро распасться, если температура повысится на 10–20 К.

Как показали расчёты и наблюдения, в наш космический век процесс образования облаков могут вызвать жидкостные ракеты вторых ступеней мощных ракет-носителей, функционирующие на высотах 60–120 км. При каждом запуске ракетаноситель выбрасывает около 1200 т водяного пара. В связи с этим предполагается, что в последующие десятилетия интенсивность облакообразования в мезосфере возрастет более чем на 50 %. Авторы расчётов, американские геофизики, утверждают, что подобные изменения в верхней атмосфере вряд ли существенно отразятся на климате Земли.

Вместе с тем одна из последних гипотез связывает серебристые облака с возникновением озонной дыры: их активное образование приводит к уменьшению свободного газового озона. Если эта идея найдёт подтверждение, то наблюдение серебристых облаков приобретёт особое значение.

Ледяные кристаллы, из которых состоят облака, представляют серьёзную угрозу для керамических плиток тепловой защиты космических аппаратов многократного использования. При сверхзвуковых скоростях перегрев и разрушение керамических плиток могут иметь катастрофические последствия. Помимо этого серебристые облака отрицательно воздействуют на процесс управления космическим аппаратом на этапах входа в плотные слои атмосферы. Таким образом, возникают пространственно-временные ограничения в использовании космической техники в зонах образования серебристых облаков. Учитывая это, специалисты из Космического центра Кеннеди (США) внесли коррекцию в угол наклона орбиты при девятом полёте корабля «Шаттл».

Несмотря на обилие данных, полученных о верхней атмосфере, природа серебристых облаков по-прежнему до конца не разгадана. Неизвестно, какие глобальные явления в земной атмосфере предопределяют их возникновение, связаны ли они с физическими процессами в нижней атмосфере, какие физико-химические процессы сопровождают их образование и распад. Чтобы ответить на все эти вопросы, требуются высокое качество наблюдательного материала и его тщательный анализ. В связи с этим возрастает роль любительских обсерваторий, которые могут оказать существенную помощь учёным в накоплении наблюдательных данных.





ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА, ЛУНЫ И ПЛАНЕТ

ПУТЬ СОЛНЦА СРЕДИ ЗВЁЗД

СУТОЧНЫЙ ПУТЬ СОЛНЦА

Каждый день, поднимаясь из-за горизонта в восточной стороне неба, Солнце проходит по небу и вновь

скрывается на западе. В Северном полушарии это движение происходит слева направо, в Южном — справа налево. В полдень Солнце достигает наибольшей высоты, или, как говорят астрономы, *кульминирует*. Полдень — это верхняя кульминация, а бывает ещё и нижняя — в полночь. В наших средних широтах нижняя кульминация Солнца не видна, так как она происходит под горизонтом. А вот за полярным кругом, где Солнце летом иногда не заходит, можно наблюдать и верхнюю, и нижнюю кульминации.

На географическом полюсе суточный путь Солнца практически параллелен горизонту. Появившись в день весеннего равноденствия, Солнце

Закат
Солнца.





четверть года поднимается всё выше, описывая круги над горизонтом. В день летнего солнцестояния оно достигает максимальной высоты ($23,5^\circ$). Следующие четверть года, до осеннего равноденствия, Солнце спускается. Это полярный день. Затем на полгода наступает полярная ночь.

В средних широтах на протяжении года видимый суточный путь Солнца то сокращается, то увеличивается. Наименьшим он оказывается в день зимнего солнцестояния, наибольшим — в день летнего солнцестояния. В дни равноденствий Солнце находится на небесном экваторе. В эти дни оно восходит в точке востока и заходит в точке запада.

В период от весеннего равноденствия до летнего солнцестояния место восхода Солнца смещается от точки востока влево, к северу. А место захода удаляется от точки запада вправо, тоже к северу. В день летнего солнцестояния Солнце появляется на северо-востоке. В полдень оно кульминирует на максимальной за год высоте. Заходит Солнце на северо-западе.

Затем места восхода и захода смещаются обратно к югу. В день зимнего солнцестояния Солнце восходит на юго-востоке, пересекает небесный меридиан на минимальной высоте и заходит на юго-западе.

Следует учитывать, что вследствие рефракции (т. е. преломления световых лучей в земной атмосфере) видимая высота светила всегда больше истинной. Поэтому восход Солнца происходит раньше, а заход — позже, чем это было бы при отсутствии атмосферы.

Итак, суточный путь Солнца представляет собой малый круг небесной сферы, параллельный небесному экватору. В то же время в течение года Солнце перемещается относительно небесного экватора то к северу, то к югу. Дневная и ночная части его пу-

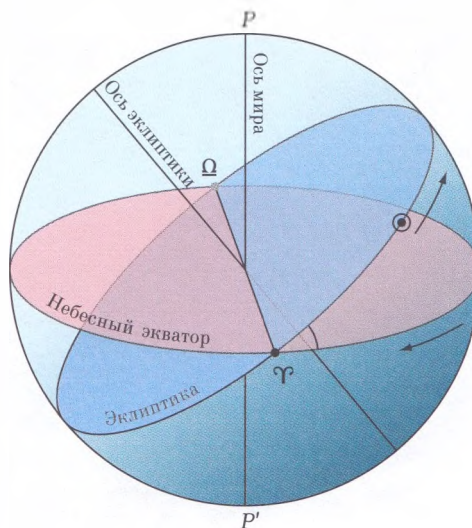
ти неодинаковы. Они равны только в дни равноденствий, когда Солнце находится на небесном экваторе.

ГОДИЧНЫЙ ПУТЬ СОЛНЦА

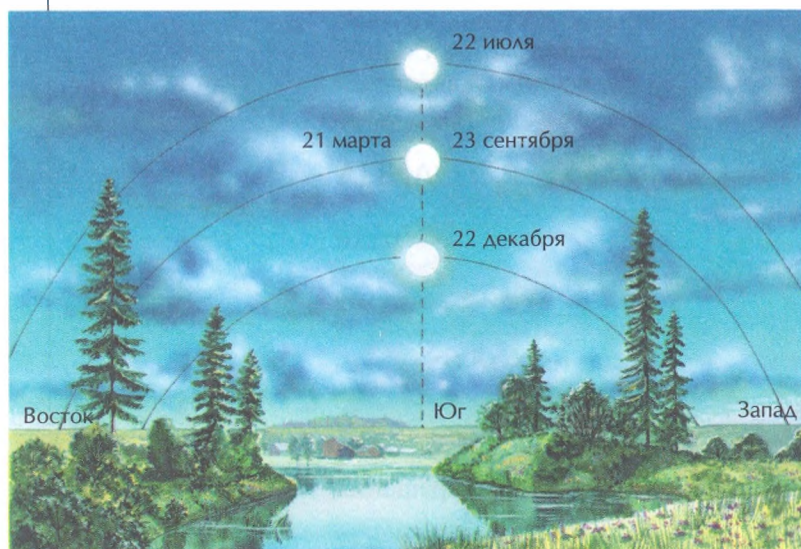
Выражение «путь Солнца среди звёзд» кому-то покажется странным. Ведь днём звёзд не видно. Поэтому нелегко заметить, что Солнце медленно, примерно на 1° за сутки, перемещается среди звёзд справа налево. Зато можно проследить, как в течение года меняется вид звёздного неба. Всё это — следствия обращения Земли вокруг Солнца.

Путь видимого годового перемещения Солнца на фоне звёзд именуется *эклиптикой* (от греч. *eclipse* — «затмение»), а период оборота по эклиптике — *звёздным годом*. Он равен 365 суткам 6 ч 9 мин 10 с, или 365,2564 средних солнечных суток.

Эклиптика и небесный экватор пересекаются под углом $23^\circ 26'$ в *точках весеннего и осеннего равноденствия*. В первой из этих точек Солнце обычно бывает 21 марта, когда оно переходит из южного полушария неба в северное. Во второй — 23 сентября, при переходе из северного полуша-



Эклиптика — путь Солнца на небесной сфере.



Максимальная высота Солнца над горизонтом в разное время года.

рия в южное. В наиболее удалённой к северу точке эклиптики Солнце бывает 22 июня (летнее солнцестояние), а к югу — 22 декабря (зимнее солнцестояние). В високосный год эти даты сдвинуты на один день.

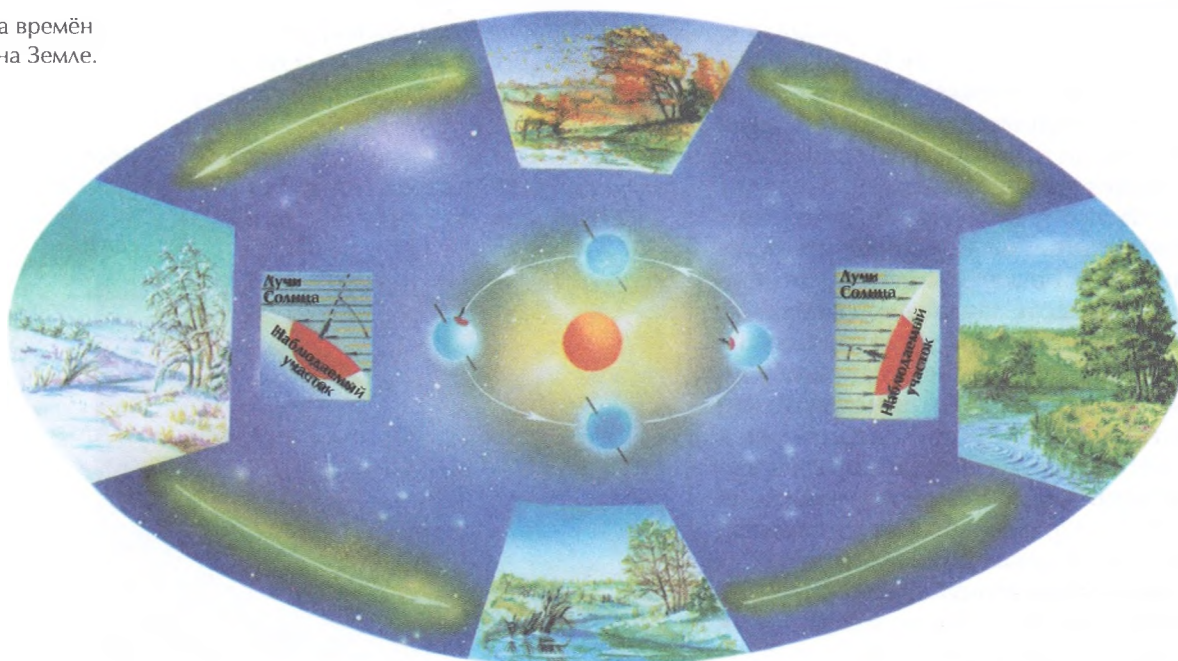
Из четырёх точек эклиптики главной является точка весеннего равноденствия. Именно от неё отсчитывается одна из небесных ко-

ординат — прямое восхождение. Она же служит для отсчёта звёздного времени и *тропического года* — промежутка времени между двумя последовательными прохождениями центра Солнца через точку весеннего равноденствия. Тропический год определяет смену времён года на нашей планете.

Так как точка весеннего равноденствия медленно перемещается среди звёзд вследствие прецессии земной оси (см. статью «Игра с волчком, или Длинная история с полярными звёздами»), продолжительность тропического года меньше продолжительности звёздного. Она составляет 365,2422 средних солнечных суток.

Около 2 тыс. лет назад, когда Гиппарх составил свой звёздный каталог (первый дошедший до нас целиком), точка весеннего равноденствия находилась в созвездии Овен. К нашему времени она переместилась почти на 30°, в созвездие Рыбы, а точка осеннего равноденствия — из созвездия Весы в созвездие Дева. Но по традиции точки равноденствий обозначаются знаками прежних «равно-

Смена времён года на Земле.





денственных» созвездий — Овна и Весов. То же случилось и с точками солнцестояний: летнее в созвездии Телец отмечается знаком Рака, а зимнее в созвездии Стрелец — знаком Козерога.

И наконец, последнее, что связано с видимым годичным движением Солнца. Половину эклиптики от весеннего равноденствия до осеннего (с 21 марта по 23 сентября) Солнце проходит за 186 суток. Вторую половину, от осеннего равноденствия до весеннего, — за 179—180 суток. Но половинки эклиптики равны: каждая 180°. Следовательно, Солнце движется по эклиптике неравномерно. Эта неравномерность отражает

изменения скорости движения Земли по эллиптической орбите вокруг Солнца.

Неравномерность движения Солнца по эклиптике приводит к разной длительности времён года. Для жителей Северного полушария весна и лето на шесть суток продолжительнее осени и зимы. Земля 2—4 июля расположена от Солнца на 5 млн километров дальше, чем 2—3 января, и движется по своей орбите медленнее в соответствии со вторым законом Кеплера. Летом Земля получает от Солнца меньше тепла, но зато лето в Северном полушарии продолжительнее зимы. Поэтому в Северном полушарии Земли теплее, чем в Южном.

ДВИЖЕНИЕ И ФАЗЫ ЛУНЫ

Известно, что Луна меняет свой вид. Сама она не излучает света, поэтому на небе видна только освещённая Солнцем её поверхность — дневная сторона. Перемещаясь по небу с запада на восток, Луна за месяц догоняет и перегоняет Солнце. При этом происходит смена *лунных фаз*: новолуние, первая четверть, полнолуние и последняя четверть.

В *новолуние* Луну не разглядеть даже в телескоп. Она располагается в том же направлении, что и Солнце (только выше или ниже его), и повернута к Земле неосвещённым полушарием. Через один-два дня, когда Луна удалится от Солнца, узкий серп можно будет наблюдать за несколько минут до её захода в западной стороне неба на фоне вечерней зари. Первое появление лунного серпа после новолуния греки называли «неомения» («новая Луна»). Этот момент у древних народов считался началом лунного месяца.

Иногда в течение нескольких дней до и после новолуния удаётся заме-

тить пепельный свет Луны. Это слабое свечение ночной части лунного диска не что иное, как солнечный свет, отражённый Землёй на Луну. Когда лунный серп увеличивается, пепельный свет бледнеет и становится незаметным.

Всё дальше и дальше влево от Солнца уходит Луна. Серп её с каждым

Пепельный свет Луны.





Молодой месяц
на вечернем
небе.



днём растёт, оставаясь выпуклым вправо, к Солнцу. Через 7 суток 10 ч после новолуния наступает фаза, именуемая *первой четвертью*. За это время Луна удалилась от Солнца на 90° . Теперь солнечные лучи освещают только правую половину лунного диска. После захода Солнца Луна находится в южной стороне неба и заходит около полуночи. Продолжая перемещаться от Солнца всё дальше к востоку, Луна с вечера появляется на восточной стороне неба. Заходит она уже после полуночи, причём каждые сутки всё позднее и позднее.

Полная Луна.



Когда наш спутник оказывается в стороне, противоположной Солнцу (на угловом расстоянии 180° от него), наступает *полнолуние*. Полная Луна светит всю ночь. Она восходит с вечера и заходит под утро. Спустя 14 суток 18 ч с момента новолуния Луна начинает приближаться к Солнцу справа. Освещённая доля лунного диска уменьшается. Всё позднее восходит Луна над горизонтом и к утру уже не заходит. Расстояние между Луной и Солнцем уменьшается со 180° до 90° . Опять становится видна только половина лунного диска, но это уже левая его часть. Наступает *последняя четверть*. А через 22 дня 3 ч после новолуния Луна в последней четверти восходит около полуночи и светит в течение всей второй половины ночи. К восходу Солнца она оказывается в южной стороне неба.

Ширина лунного серпа продолжает уменьшаться, а сама Луна постепенно приближается к Солнцу с правой (западной) стороны. Бледный серп появляется на восточном небосклоне под утро, с каждым сутками всё позднее. Опять виден пепельный свет ночной Луны. Угловое расстояние между Луной и Солнцем уменьшается от 90° до 0° . Наконец Луна догоняет Солнце и снова становится невидимой. Начинается следующее новолуние. Лунный месяц закончился. Прошло 29 дней 12 ч 44 мин 2,8 с, или почти 29,6 суток.

Промежуток времени между последовательными одноимёнными фазами Луны называется *синодическим месяцем* (от греч. *synodos* — «соединение»). Таким образом, синодический период связан с видимым на небе расположением небесного тела (в данном случае Луны) относительно Солнца.

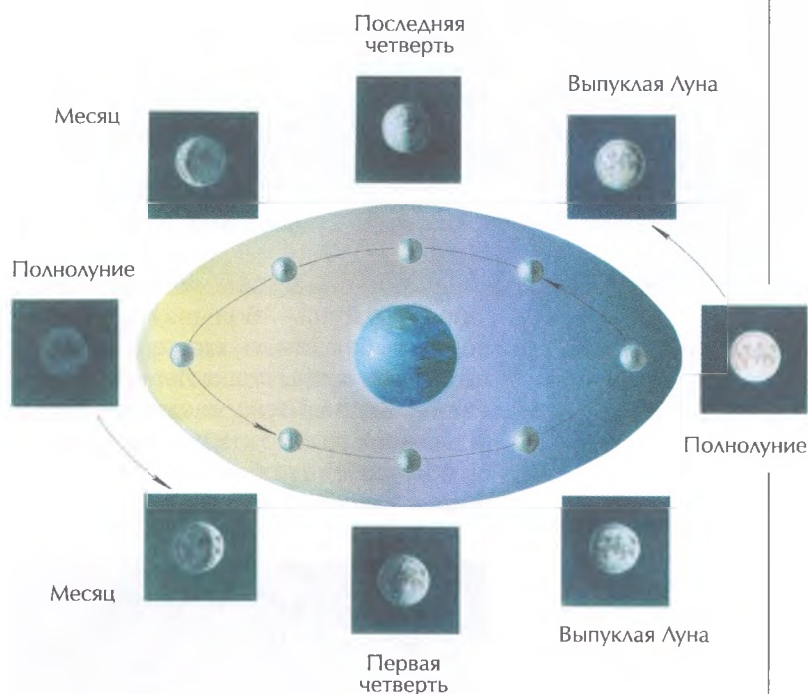
Свой путь вокруг Земли относительно звёзд Луна совершает за 27 суток 7 ч 43 мин 11,5 с. Этот период называется *сидерическим* (от лат. *sideris* — «звезда»), или звёздным, ме-



сящем. Таким образом, сидерический месяц немного короче синодического. Почему? Рассмотрим движение Луны от новолуния до новолуния. Луна, совершив оборот вокруг Земли за 27,3 суток, возвращается на своё место среди звёзд. Но Солнце за это время уже переместилось по эклиптике к востоку, и только когда Луна догонит его, наступит следующее новолуние. А для этого ей потребуется ещё примерно 2,2 суток.

Путь Луны по небу проходит недалеко от эклиптики, поэтому полная Луна поднимается из-за горизонта при заходе Солнца и приблизительно повторяет путь, пройденный им за полгода до этого. Летом Солнце поднимается на небе высоко, полная же Луна не удаляется далеко от горизонта. Зимой Солнце стоит низко, а Луна, напротив, поднимается высоко и долго освещает зимние пейзажи, придавая снегу синий оттенок.

Фазы Луны.



ЛУННЫЕ И СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ

- А ещё хотели остроумов бить. То-то вот глупость...
- А у нас, братцы, мужики и без остроумов знали, что будет затмение. Ей-богу... Потому старики учили: ежели, говорят, месяц по зорям ходит — непременно к затмению... Но только в какой день — этого не знали. Это, неча хвастать, было нам неизвестно.
- А они, вишь, как рассчитали, в аккурат! Как ихний маятник ударил, тут и началось... Премудрость.
- На то и разум даден человеку.

В. Г. Короленко. На затмении. 1887 г.

ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

Светит полная Луна. «Что это она сегодня необычайно яркая?» — подумали вы, глянули и увидели: по левому краю её серебристого диска будто кто-то мазнул красной краской. Началось лунное затмение.

В течение часа что-то круглое и красное, словно большой диск окра-

шенного стекла, постепенно накатывает на ночное светило, пока всё оно не скроется в этой красноте. И долго ещё Луна будет оставаться в таком виде, а затем красный круг начнёт сползать с её правого края.

Разные чувства вызывает лунное затмение. Можно любоваться медно-красным диском Луны, голубоватым ободком по краю тени, радуясь тому,



какое нынче выдалось светлое и яркое затмение. В старину тёмно-багровое, кровавое лунное «затмище» пугало. Не говоря уже о тех случаях, когда Луна, к удивлению и тревоге очевидцев, вообще исчезала с неба! А вдруг навсегда?!

Древние обитатели Южной Америки инки думали, что Луна покраснела от болезни и если она умрёт, то, пожалуй, сорвётся с неба и упадёт. Зная, что Луна — большая приятельница собак, инки таскали псов за уши, взывая: «Матушка Луна, матушка Луна!» Бедная Луна, услышав визги и мольбы, собирала все свои силы, чтобы победить болезнь и воскреснуть с прежней яркостью.



Полное лунное затмение.

Норманнам же представлялось, что красный волк Мангарм опять осмелел и напал на Луну. Отважные воины, конечно, понимали, что не могут причинить вреда небесному хищнику, но, зная, что волки не выносят шума, кричали, свистели, били в барабаны. Шумовая атака продолжалась иной раз два, а то и три часа без перерыва.

А в Центральной Азии затмение проходило в полной тишине. Люди безучастно глядели, как злой дух Раху проглатывает Луну. Никто не шумел и не махал руками. Ведь всякому из-

вестно, что добрый дух Очирвани когда-то отсёк демону полтуловища и Луна, пройдя сквозь Раху, как через рукав, засветит вновь.

На Руси всегда считалось, что затмение предвещает беду «Месяц погиб и бысть аки кровь... и по двояму часу паки свету исполнися (а через два часа опять просветлел. — *Прим. ред.*)». И вспоминает летописец, как качали головами мудрые «старии людие» и рекли: «Не благо есть сяково знамение!»

Причина лунных затмений стала в какой-то степени понятна уже восточным мудрецам много тысяч лет назад. Но, как и все важные знания о небе, она была жреческой тайной. Греческие учёные осмыслили и раскрыли халдейские и египетские премудрости.

Затмения Луны происходят всегда в полнолуние, когда Солнце, Земля и Луна выстраиваются в один ряд. Освещённая Солнцем Земля отбрасывает в пространство тень. В длину тень имеет вид конуса, вытянутого на миллион километров; поперёк она круглая, а на расстоянии 360 тыс. км от Земли её диаметр в 2,5 раза больше лунного. Когда Луна целиком войдёт в обширное пространство тени, наступает *полная фаза* затмения, длящаяся иногда более полутора часов, пока краешек нашего спутника опять не появится на свету.

Итак, круглое и красное — это пространство земной тени, которую пересекает Луна. Аристотель чётко сформулировал эту истину и сделал очень важный вывод: раз конус тени во всякое затмение имеет круглое сечение, значит, и Земля наша округла и может быть только шаром. Это было первое (но не единственное) доказательство шарообразности Земли.

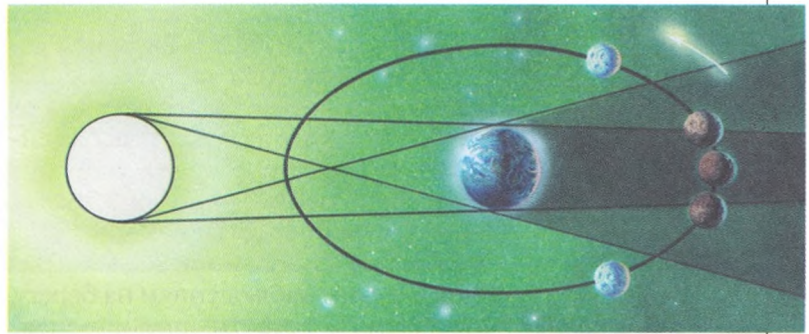
Если бы плоскость орбиты Луны совпадала с плоскостью земной орбиты (плоскостью эклиптики), то затмения Луны повторялись бы каждое полнолуние, т. е. регулярно



через 29,5 суток. Но месячный путь Луны наклонён к плоскости эклиптики на 5° , и Луна дважды в месяц лишь пересекает «круг затмений» в двух «рискованных» точках. Эти точки называются *узлами лунной орбиты*. Следовательно, для того чтобы произошло лунное затмение, необходимо совпадение двух независимых условий: должно быть полнолуние, и Луна в это время должна пребывать в узле своей орбиты или где-то рядом.

В зависимости от того, насколько близко Луна окажется к узлу орбиты в час затмения, она может пройти через середину конуса тени, и затмение будет максимально продолжительным, а может пройти краем тени, и тогда мы увидим *частное лунное затмение*. Конус земной тени окружён полутенью. В эту область пространства попадает лишь часть солнечных лучей, не заслонённая Землёй. Поэтому бывают *полутеневые затмения*. О них тоже сообщается в астрономических календарях, но эти затмения неразличимы для глаза, только фотоаппарат и фотометр способны отметить помрачение Луны во время полутеневой фазы или полутеневого затмения. Когда же полнолуние случается далеко от узлов лунной орбиты, Луна проходит выше или ниже тени и затмения не происходит.

Восточные жрецы, ещё не очень чётко всё это понимая, веками вели упорный счёт полным и частным затмениям. На первый взгляд в расписании затмений не обнаруживается никакого порядка. Бывают годы, когда случается три лунных затмения, а бывает, что и ни одного. К тому же лунное затмение видно только с той половины земного шара, где Луна в этот час находится над горизонтом, так что с любого места на Земле, например из Египта, можно наблюдать только чуть больше половины всех лунных затмений.



Но упорным наблюдателям небо открыло наконец великую тайну: за 6585,3 суток по всей Земле всегда происходит 28 лунных затмений. В следующие 18 лет 11 дней 8 ч (а это и составляет названное число суток) все затмения будут повторяться по тому же расписанию. Остаётся только ко дню каждого затмения прибавить 6585,3 дня. Так вавилонские и египетские астрономы научились предсказывать затмения через «повторение». По-гречески это *сарос*. Сарос позволяет рассчитывать затмения на 300 лет вперёд.

Схема лунного затмения.

Когда движение Луны по орбите было изучено более точно, астрономы научились вычислять не только день затмения, как это делалось по саросу, но и точное время его начала.

Христофор Колумб был первым из мореплавателей, кто, отправляясь в плавание, брал с собой астрономический календарь для определения долготы открытых земель по времени лунного затмения. Календарём ему служили знаменитые таблицы Региомонтана, предсказывавшие затмения до 1506 г.

Во время четвёртого плавания через Атлантику, в 1504 г., лунное затмение застало Колумба на острове Ямайка. Таблицы указывали начало затмения 29 февраля в 1 ч 36 мин по нюрнбергскому времени. Лунное затмение всюду на Земле начинается одновременно. Однако местное время на Ямайке отстает на много часов от времени германского города,



потому что Солнце здесь восходит гораздо позже, чем в Европе. Разность в показаниях часов на Ямайке и в Нюрнберге как раз и равна разности долгот этих двух мест, выраженной в часовой мере. Другого способа более или менее точно определить долготу Ямайки тогда не было.

Колумб стал готовиться к астрономическим наблюдениям на берегу, но туземцы, встретившие мореплавателей с опаской, мешали предварительным наблюдениям Солнца и наотрез отказались снабдить чужестранцев съестными припасами. Тогда Колумб, выждав пару дней, объявил, что этим же вечером лишит островитян лунного света, если они... Конечно, когда затмение началось, испуганные караибы готовы были отдать белому человеку всё, лишь бы тот оставил Луну.

«Чудо» началось в 19 ч по «ямайскому» времени, определённом Колумбом из наблюдений Солнца. Любопытный читатель, поразмыслив, сам определит долготу острова, полученную Колумбом, и даже, сверившись с картой, узнает, на сколько ошибся великий адмирал в измерении долготы.

Во время затмения Луна прячется в тень Земли и, казалось бы, должна каждый раз совсем исчезать из виду,

потому что Земля непрозрачна. Так бы и происходило, если бы Земля не имела атмосферы. В действительности же солнечные лучи, касательные к поверхности земного шара, пронизывая атмосферу, рассеиваются и попадают в тень Земли. Сквозь толщу воздуха лучше всего проходят красные и оранжевые лучи, они-то и окрашивают диск Луны в багровый, кирпичный или медный цвет в зависимости от состояния земной атмосферы.

Лунное затмение — одно из немногих небесных явлений, доступных фотосъёмке с любительскими средствами. Света, правда, маловато, и нужно заранее определиться с режимом фотосъёмки.

СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ

Миновало лунное затмение. Луна продолжает своё движение по небу вокруг Земли и постепенно теряет округлость, ущемляется. Через неделю после полнолуния настала последняя четверть, а ещё через неделю Луна пропала в лучах утреннего Солнца: подошло новолуние. В этот момент может произойти солнечное затмение — ведь именно в новолуние Луна проходит между Солнцем и Землёй. Астрономы заранее знают, когда и где будет наблюдаться солнечное затмение, и сообщают об этом в астрономических календарях.

Земле достался один-единственный спутник, но зато какой! Луна в 400 раз меньше Солнца и в 400 раз ближе него, поэтому на небе Солнце и Луна кажутся дисками одинакового размера. Так что при полном солнечном затмении Луна целиком заслоняет яркую поверхность Солнца, оставляя при этом открытой всю солнечную атмосферу.

Точно в назначенный час и минуту сквозь тёмное стекло видно, как на яркий диск Солнца наползает с правого края что-то чёрное, как появляется на

Колумб наблюдает лунное затмение.





нём чёрная лунка. Она постепенно разрастается, пока наконец солнечный круг не примет вид узкого серпа. Быстро ослабевает дневной свет. Вот Солнце полностью прячется за тёмной заслонкой, гаснет последний дневной луч, и тьма, кажущаяся тем глубже, чем она внезапнее, расстилается вокруг, повергая человека и всю природу в безмолвное удивление.

О затмении Солнца 8 июля 1842 г. в городе Павии (Италия) рассказывает английский астроном Фрэнсис Бейли: «Когда наступило полное затмение и солнечный свет мгновенно потух, вокруг тёмного тела Луны внезапно загорелось какое-то яркое сияние, похожее на корону или на ореол вокруг головы святого. Ни в каких отчётах о прежних затмениях не было описано ничего подобного, и я во все не ожидал увидеть величие, находившееся у меня теперь перед глазами. Ширина короны, считая от окружности диска Луны, была равна примерно половине лунного диаметра. Она казалась составленной из ярких лучей. Её свет был плотнее около самого края Луны, а по мере удаления лучи короны делались всё слабее, тоньше.

Ослабление света шло совершенно плавно вместе с увеличением расстояния. Корона представлялась в виде пучков прямых светлых лучей; их внешние концы расходились всеором; лучи были неравной длины. Корона была не красноватая, не жемчужная, она была совершенно белого цвета. Её лучи переливались или мерцали, как газовое пламя. Как ни блестяще

было это явление, какие бы восторги и восхищение оно ни вызывало бы у зрителя, но всё же в этом странном, дивном зрелище было точно что-то зловещее, и я вполне понимаю, насколько могли быть испуганы и потрясены люди во времена, когда эти явления наступали совершенно неожиданно. Наиболее удивительной подробностью всей картины было появление трёх больших выступов (протуберанцев), которые высились над краем Луны, но составляли, очевидно, часть короны. Они походили на горы громадной высоты, на снеговые вершины Альп, когда те освещены красными лучами заходящего Солнца. Их красный цвет впадал в лиловый или пурпуровый; быть может, лучше всего подошёл бы сюда оттенок цветов персика. Свет выступов, в противоположность остальным частям короны, был совершенно спокоен, „горы“ не искрились и не переливались. Все три выступа, несколько разные по величине, были видны до последнего момента полной фазы затмения. Но как только прорвался первый луч Солнца, протуберанцы вместе с короной пропали бесследно, и сразу восстановился яркий свет дня». Это явление, так тонко и красочно описанное Бейли, длилось чуть более двух минут.

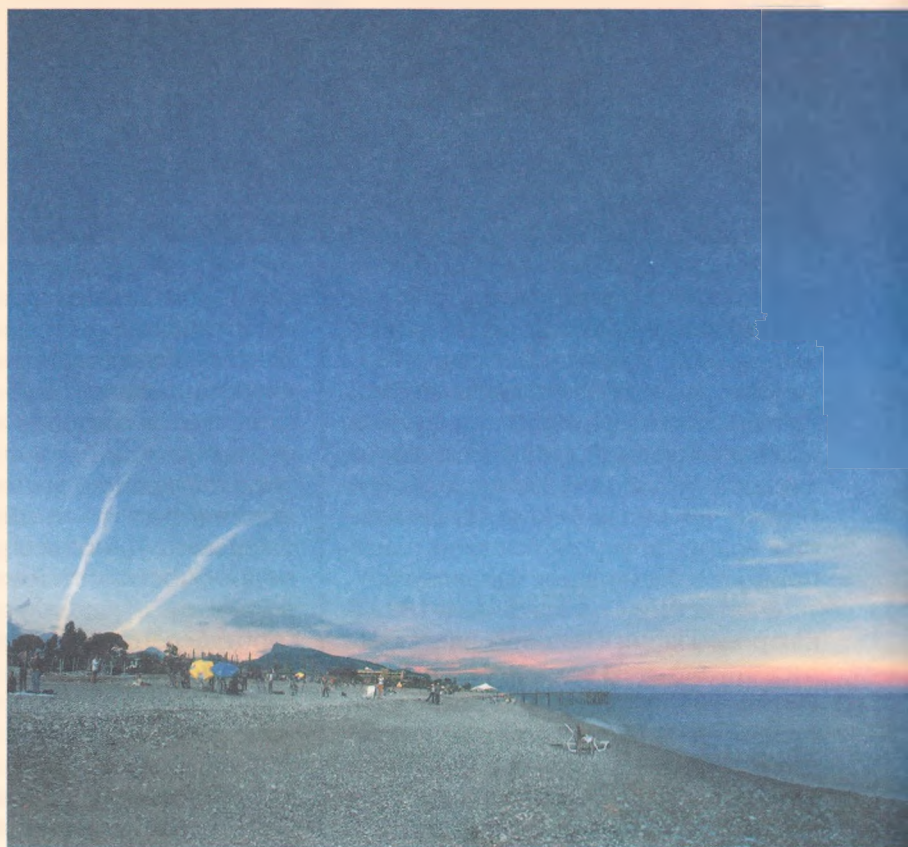
Помните тургеневских мальчиков на Бежином лугу? Павлуша рассказывал о том, как Солнца не стало видеть, о человеке со жбаном на голове, которого приняли за антихриста Тришку. Так это был рассказ о том же затмении 8 июля 1842 г.

Положения Солнца на эклиптике и Луны на лунном пути в различные новолуния.



Почти круговая панорама (340°) берега Средиземного моря в Кемере (Турция) во время солнечного затмения 29 марта 2006 г.

Слева – лагерь наблюдателей. В правой части снимка над горами видна Венера, выше и левее – Меркурий. Чёрный диск Луны окружён солнечной короной, заметно растянутой вдоль эклиптики. Ещё левее видны самые яркие звёзды созвездий Орион, Возничий и Телец, а среди них – Марс. Над всем горизонтом заметно оранжевое заревое кольцо. Белые полосы в левом углу панорамы – это инверсионные следы самолётов, исчезающие в лунной тени.



Но не было на Руси затмения более знаменитого, чем то, о котором повествуют «Слово о полку Игореве» и древние летописи. Весной 1185 г. новгород-северский князь Игорь Святославич с братом Всеволодом, исполнившись ратного духа, пошли на половцев стяжать себе славы, а дружине добычи. 1 мая, ближе к вечеру, как только вступили полки «Дажьбожьих внуков» (потомков Солнца) на чужую землю, затемнело раньше положенного, птицы смолкли, кони ржали и не шли, тени всадников были неясны и странны, степь дохнула холодом. Оглянулся Игорь и увидел, что провожает их «солнце, стояще яко месяц». И сказал Игорь боярам своим и дружине своей: «Видите ли? Что значит знаменьсие?» Они же посмотрели, и увидели,

и понурили головы. И сказали мужи: «Князь наш! Не сулит нам добра это знамение!» Игорь же отвечал: «Братья и дружина! Тайна Божия никому неведома. А что нам дарует Бог — на благо нам или на горе, — это мы увидим». В десятый день мая дружина Игоря полегла в Половецкой степи, а раненый князь был взят в плен.

В «Слове» реальное затмение превращается в поэтический образ. Действуя «тьмою» против русичей, Солнце предостерегает их от недуманного похода в степь.

Игоря с дружиной застало в степи частное затмение, когда не всё дневное светило, а около 3/4 его диска были закрыты Луной. А полное затмение в это время прошло через Новгородскую и Суздальскую земли.

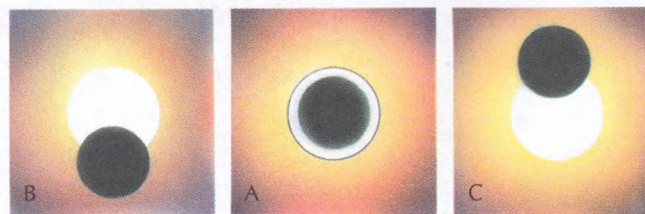
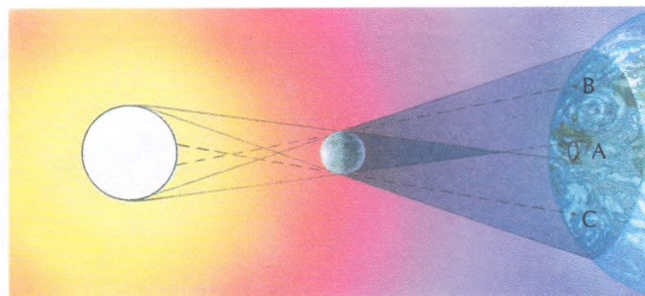
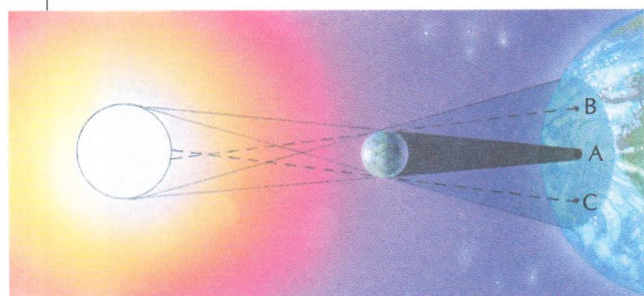


Посмотрим на Землю и Луну со стороны, чтобы понять, где и как протекает солнечное затмение. Проходя между Солнцем и Землёй, маленькая Луна не может полностью затенить Землю. Короткая лунная тень при- темняет на Земле лишь небольшой кружок. Только здесь можно в этот момент наблюдать *полное затмение* Солнца. Но Луна движется по орбите, и Земля вращается под тенью. Поэтому тень как бы прочерчивает на Земле полосу полного затмения шириной около 100 км. Если теневая дорожка пройдёт от нас в 3—4 тыс. километров или дальше, то мы не увидим никакого затмения. А если мы окажемся вблизи полосы полного затмения, в области полутени, для нас только часть Солнца заслонится Луной, и будет наблюдаться *частное затмение*.

В некоторые новолуния остриё лунной тени проходит мимо земного шара, а на Землю падает только полутень. Тогда календари объявляют о частном затмении Солнца.

Если в день затмения Луна, перемещаясь по своей вытянутой орбите, будет находиться на значительном удалении от Земли, то видимый диск её окажется мал и не сможет полностью покрыть Солнце. Поэтому в середине затмения края Солнца будут выглядывать из-за Луны, мешая видеть и фотографировать корону. Это — *кольцеобразное затмение*.

Древние астрономы предсказывали солнечные затмения так же, как и лунные — по саросу. За 18 лет 11 дней 8 ч происходит кроме 28 лунных ещё и 43 солнечных затмения, из них 15 частных, 15 коль-



▲
Схема полного
солнечного
затмения.

▲►
Схема
кольцеобразного
солнечного
затмения.

Почему
не всегда бывают
солнечные
затмения.

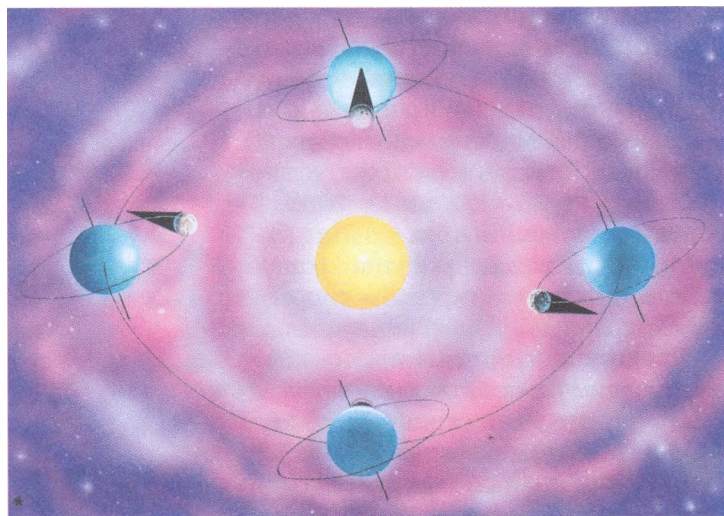


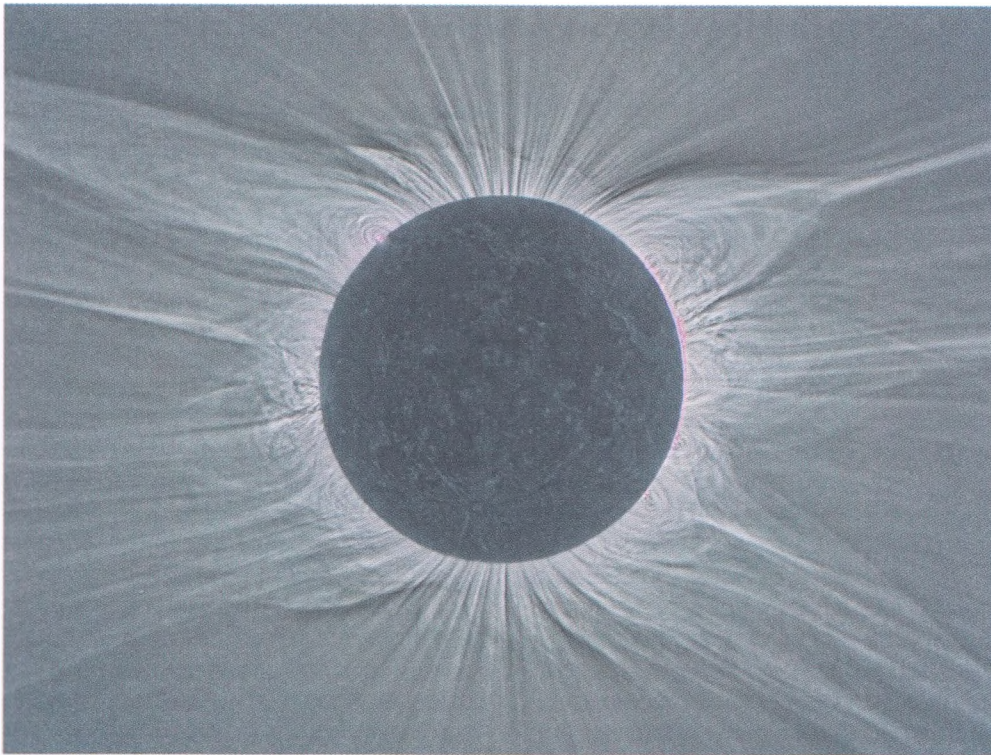
цеобразных и 13 полных. Но предсказывать солнечные затмения намного труднее, чем лунные. Ведь полоса затмения покрывает небольшую часть поверхности Земли, а в саросе не целое число суток. Пройдёт 6585 суток, вроде бы затмение должно повториться, но планета доворачивается ещё на треть оборота, так что теневая дорожка пробежит совсем другими областями Земли. Тогда мудрецы придумали тройной сарос — $3 \cdot 6585,3$ суток. Однако и здесь у древних астрономов случались промахи в предска-

ниях. Иногда это имело печальные последствия. Осенью 2137 г. до н. э. были казнены китайские придворные астрономы Хи и Хо, не предупредившие императора о предстоящем затмении. Указ гласил, что виновные просчитались с затмением, «предавшись пьянству», но, может быть, несчастные звездочёты перед каждым очередным затмением со страхом размышляли, доносить или не доносить, не зная точно, пройдёт оно через Китай или нет.

В наше время затмения с большой точностью вычислены на тысячи лет назад и сотни лет вперёд. Затмения, рассчитанные для далёкого прошлого, позволяют историкам совершенно точно датировать события, произошедшие в день и год затмения.

Хотя в целом на Земле солнечные затмения случаются чаще, чем лунные, в какой-то определённой местности полные затмения Солнца наблюдаются крайне редко: в среднем раз в 300 лет. Например, за всю историю Москвы её «посетили» четыре полных солнечных затмения: в 1140, 1450, 1476 и 1887 гг. Следующее полное затмение москвичи увидят 16 октября 2126 г. Астрономические календари публикуют карты





Вид полного солнечного затмения 29 марта 2006 г. в момент «третьего контакта» — через мгновение Луна перестанет полностью загораживать Солнце. Видны узкая полоска хромосферы, протуберанцы над ней и корона. В области внутренней короны над протуберанцами заметны купольные структуры. По мере удаления от Солнца лучи короны все более выпрямляются и наконец превращаются в радиальные стримеры. Северный полюс Солнца на снимке сверху. Луна движется влево. Полушарие Луны, обращённое к Земле, освещено солнечным светом, отражённым от нашей планеты. Это так называемый пепельный свет. Он хотя и тусклый, но всё же позволяет разглядеть на снимке лунные моря, горы и кратеры.

полосы полного затмения и прилегающих зон частного затмения. Так что специалисты и астрономы-любители могут «не ждать милости от природы», а заранее выбрать удобное место для экспедиции.

Полное затмение — лучшее время для изучения солнечной атмосферы: серебристой короны и более низкого слоя — красной хромосферы, над которой вздымаются огненные фонтаны протуберанцев. Правда, астрономы ухитряются всё это видеть и в обычный солнечный день, устраивая заслонку солнечному диску прямо в трубе телескопа.

Даже во время полного солнечного затмения спрятавшееся за лунный диск Солнце освещает атмосферные слои вблизи горизонта. Возникает явление, сходное с тем, что происходит, когда Солнце только что зашло или вот-вот взойдет, — заря. Только на этот раз она охватывает практически весь горизонт — «заревое кольцо».

Фотографирование солнечных затмений затруднено большой разницей в освещённости во время частной и полной фаз, а также малой продолжительностью полной фазы — не более нескольких минут.



СЛОЖНЫЕ ПЕТЛИ «БЛУЖДАЮЩИХ СВЕТИЛ»

Наверное, Луна — это первое небесное тело, перемещение которого на фоне постоянного узора созвездий было отмечено людьми. Это неудивительно: движется Луна довольно быстро, так что её движение можно заметить буквально в течение одной ночи. Каждый час Луна смещается относительно звёзд на величину своего поперечника, разумеется участвуя вместе с ними и в суточном вращении вокруг полюса мира. Направление перемещения среди звёзд противоположно направлению её суточного вращения.

Труднее заметить подобное движение Солнца — ведь оно светит днём, «когда и так светло», как говорил незабвенный Козьма Прутков, и когда (что для нас сейчас важнее) на небе не видны другие светила. Фон дневного неба слишком ярок, чтобы на нём можно было заметить слабые источники света — звёзды (хотя они там присутствуют!). Поэтому и нельзя прямо наблюдать перемещение

Солнца среди них. Однако, наблюдая сезонные изменения ночного неба, люди поняли, что Солнце тоже перемещается относительно звёзд — в ту же сторону, что и Луна, но гораздо медленнее.

Но ещё до этого открытия были обнаружены светила, и притом весьма яркие, чьё движение среди звёзд было несомненным. Их называли *планетами* (от греч. «астер планетес» — «блуждающая звезда»). Уже в римскую эпоху они получили имена богов и богинь римского пантеона — в полном соответствии с особенностями своего облика и движения.

«Эти движения в связи с блеском планет внушили людям мысль дать им те имена, которые они носят, соединять с ними некоторые представления, приписывать им влияние на судьбу людей, видеть в них символы божеств, а то и самые божества. Венера, сияющая своими белыми, яркими лучами, стала богиней звёзд и красоты; величественный Юпитер считался главнейшим божеством; окружённый красными лучами Марс сделался богом войны; Сатурн, самый медлительный из обитателей небес, стал символом времени и судьбы; лёгкий мелькающий Меркурий, то появляющийся после Аполлона, то предвещающий его, оказался божественным посланником» — так писал знаменитый французский популяризатор астрономии Камилл Фламарион в своей книге «Популярная астрономия». Движение планет среди звёзд выглядит более сложным, чем перемещение Солнца и Луны. Двигаясь в том же направлении, что и наши главные светила, через некоторое время планета замедляет ход, затем останавливается, смещается в обратном направлении и после очередной остановки снова меняет направление движения на

Луна, Венера и Юпитер.



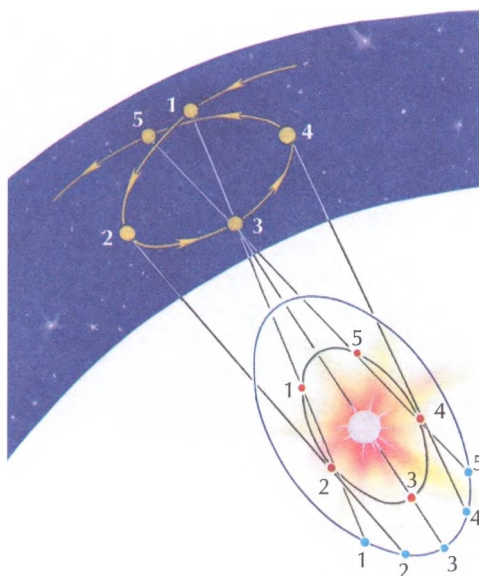


первоначальное. Движение с запада на восток называется *прямым*, с востока на запад — *попятным*, а моменты смены направления — *стояния*. Если нанести этот путь на карту, получится *петля*.

Есть некоторое различие в движении Венеры и Меркурия, которые расположены ближе к Солнцу, чем Земля, и называются *нижними* планетами, и остальных планет, именуемых *верхними*. Следует присмотреться к этим петлям повнимательнее.

Венера сначала движется среди звёзд в ту же сторону, что и Солнце, но быстрее его. Она обгоняет дневное светило и начинает удаляться от него к востоку. В такие периоды она находится на небе левее Солнца и видна по вечерам после его захода за горизонт. Впрочем, Венера — самое яркое светило нашего неба после Солнца и Луны. Она бывает видна на голубом небе и до захода Солнца. Очень далеко от Солнца Венере «не убежать», наибольшее возможное угловое расстояние между ними составляет 47° . Достигнув максимального удаления, Венера останавливается, затем начинает двигаться в обратную сторону, сближаясь с Солнцем. Она исчезает в лучах дневного светила, а затем, продолжая попятное движение, появляется уже справа от него и перемещается к западу. Теперь она видна на небе уже по утрам, перед восходом Солнца. Удалившись (опять-таки не более чем на 47°) к западу от Солнца, Венера снова проходит стояние, после которого начинает прямое движение, сближаясь с Солнцем, исчезая в его ярком блеске и появляясь опять слева от него.

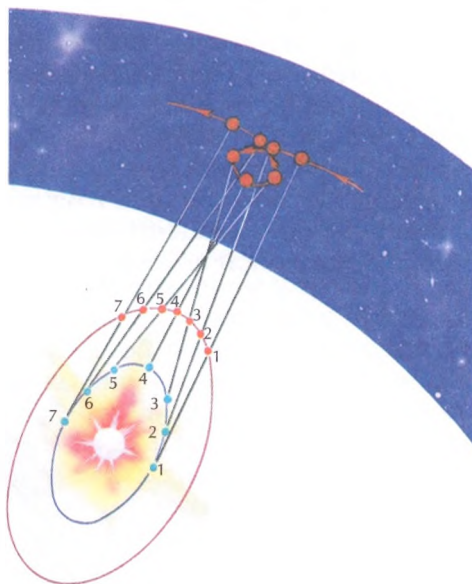
Подобным же образом перемещается и Меркурий. Разница в том, что размах его удалений от Солнца меньше: он не превосходит 28° . Поэтому Меркурий трудно наблюдать на небе: он постоянно находится где-то недалеко от Солнца и скрывается в его слепящих лучах. Лишь в моменты



Петлеобразное движение нижних планет.

наибольших удалений он виден либо на западе после захода Солнца, либо на востоке до его восхода.

Другая картина получится, если следить за движением верхней планеты, например Марса. Допустим, в данный момент Марс находится в той же стороне неба, что и Солнце, и не виден в его лучах. При этом он движется среди звёзд в ту же сторону, что и Солнце (с запада на восток),



Петлеобразное движение верхних планет.



но медленнее его, постепенно отставая. Таким образом, он удаляется всё дальше и дальше на запад от дневного светила, и его можно наблюдать в утренние часы перед восходом Солнца. Расстояние между Марсом и Солнцем на небе растёт, наконец он оказывается в противоположной Солнцу стороне неба и виден почти всю ночь. Именно в это время наступает стояние, сменяющееся попятным движением, ещё одним стоянием и снова прямым движением, теперь уже приближающим планету к Солнцу на небе. Далее всё повторяется.

Движение остальных планет — Юпитера, Сатурна и открытых в Новое время при помощи телескопов Урана и Нептуна — происходит так же. Только размер петель, описываемых планетами в перечисленной последовательности, становится всё меньше и меньше.

Для объяснения таких необычных движений в своё время были придуманы весьма сложные механические системы. Над умами долго довлели религиозно-философские идеи устройства мира и его гармонии. В частности, совершенным движением, единственно достойным приложения к небесным объектам, считалось равномерное движение по окружности. Поэтому система александрийца Клавдия Птолемея, господствовавшая в науке много столетий, пыталась описать видимые движения планет как комбинацию таких равномерных движений по окружности. К тому же система эта была геоцентрической: в центре Вселенной помещалась не-

подвижная Земля; вокруг неё вращались даже не планеты, а центры окружностей, по которым равномерно двигались планеты. Но такая схема не могла точно описать видимое движение планет, и её пришлось усложнять введением новых кругов. Потребовались гений Коперника и Кеплера, чтобы описать истинные движения планет вокруг Солнца.

Видимые с Земли движения планет обусловлены двумя основными факторами:

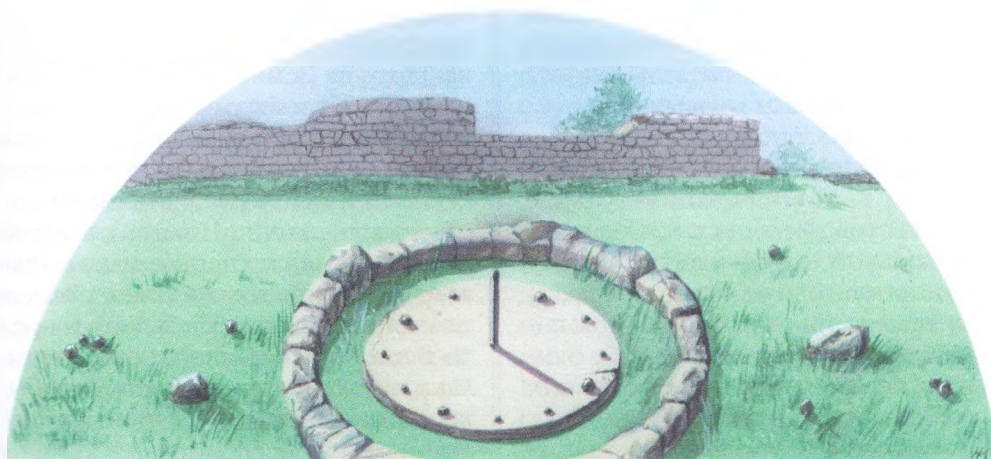
1. Мы наблюдаем перемещение на фоне звёзд тех планет, которые обращаются вокруг Солнца, и притом мы сами находимся на планете, обращающейся вокруг Солнца.

2. Скорость движения по орбите тем больше, чем ближе планета к Солнцу.

Таким образом, когда Венера и Земля находятся примерно на одной прямой с Солнцем и по одну сторону от него, Венера обгоняет Землю в орбитальном движении и на небе Земли перемещается среди звёзд попятным движением. Когда в такой ситуации оказываются Земля и Марс, уже Земля обгоняет своего внешнего соседа, и тот получает попятное движение на небе.

Размеры петли зависят от расстояния между планетой и Землёй: чем оно больше, тем петля меньше. Отметим ещё, что планеты описывают петли, а не просто движутся туда-обратно по одной линии исключительно из-за того, что плоскости их орбит не совпадают с плоскостью эклиптики (т. е. плоскостью земной орбиты).





ВРЕМЯ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ

ЧТО ТАКОЕ ВРЕМЯ?

Всем ясен смысл слова «время», когда спрашивают: «Сколько времени?» Но что содержит в себе понятие «время», на этот вопрос ответить нелегко. И во все времена на него отвечали по-разному. Для Платона время — божественная вечность, разделённая небесными телами на дни, месяцы, годы; Аристотель видел во времени число, меру движения и покоя; а Альберт Эйнштейн пишет о времени как о физической реальности, меняющей свой бег вследствие движения тел. Это уже не единое Время, а времена!

В самом общем виде можно сказать, что время — это порядок непрерывной череды сменяющих друг друга явлений, порядок постоянно изменяющихся состояний физических тел, Вселенной — бытия. Время — это дышащее бытие, живущий мир.

Главное свойство времени состоит в том, что оно длится, течёт непрерывно. Оно безостановочно. Астроном, физик, любой другой специалист (да и неспециалист) работают со временем «на лету» — фотографируют некое явление, регистрируют спектр вспышки, или ливень каких-либо частиц, или всплеск на мониторе радиотелескопа. «Остановись, мгновенье!» — говорят они вслед за доктором Фаустом. И при этом всегда отмечают с предельно доступной точностью моменты наблюдения: время начала и окончания явления или его продолжительность. Без пометки времени любой готовый результат астрономического наблюдения — рисунок, фотография, регистриrogramма самописца — не имеет практически никакой научной





ценности. И наоборот, возрастающая точность измерения времени одних и тех же явлений природы иногда приводит к новым открытиям.

Время неостановимо. Его можно замедлить для экипажа, для вещей, летящих в космическом корабле с околосветовой скоростью. Согласно специальной теории относительности Эйнштейна, чем больше скорость, тем больше замедление. В самом корабле, на себе, на своих часах экипаж в полёте не заметит никаких изменений. Но встреча на родном космодроме с бородатыми старцами, которые по документам приходятся космонавтам правнуками, убедит их в том, что время на Земле и в полёте текло по-разному.

Пространство можно оградить забором, запереть в сейфе, иметь в кармане — время нельзя убрать, запasti впрок. На старое место можно вернуться — время необратимо. Прошлое навсегда закрылось для нас. В будущее путешествуйте сколько угодно: в нормальном темпе, как все, или обгоняя остальных — в космическом корабле. Но запрет на путешествие в прошлое категоричен. Попав в прошлое, человек или вещь могли бы подправить, изменить и даже привести к абсурду события нашего времени, например убить в прошлом того, кто в настоящее время жив. Время необратимо, а это значит, что нельзя изменить порядок уже сделанных ходов, невозможно следствие поставить раньше его причины. «Невозможно дважды войти в одну и ту же реку», — говорил Гераклит.

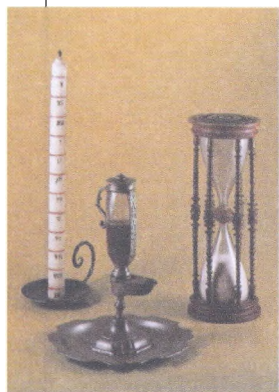
Но во времени существуют и якобы возвратные — повторные, периодические процессы: удары сердца, качание маятника, пульсация звезды, приливы и отливы в океане, вращение планеты. И все обороты Земли были бы по времени строго одинаковыми, если бы... Если бы вокруг был полный вакуум, не было бы электрических и магнитных полей Солнца и

Галактики, не существовало бы никаких других небесных тел, оказывающих на Землю гравитационное влияние, если бы она не сжималась, если бы внутри неё не перемешивалось вещество, если бы человек не строил на ней водохранилищ и вообще сидел тихо... Иными словами, если бы Земля не испытывала никакого внешнего воздействия, тогда и планета вращалась бы вечно, и время Вселенной сделалось обратимым! Но для этого только и надо, чтобы, кроме вращающегося шарика, не было ничего во Вселенной.

Чем короче период движения, тем, как правило, он менее зависим от внешних событий. За время последнего витка Солнечной системы вокруг центра Галактики (а это 215 млн лет!) сколько изменений произошло на Земле: сдвинулись материки, выросли новые горы, погибли динозавры, возникли новые виды животных и растений, появился человек. Конечно, за следующие 215 млн лет Земля опять изменится столь же неузнаваемо. А с другой стороны, сколь ничтожно воздействие Вселенной на электрон за время его витка вокруг ядра атома. Вращательные и колебательные процессы в микромире более стабильны, чем в мире небесных тел.

Периодические процессы в природе — это шаги времени. Без них отмерять время было бы очень трудно. Повторные явления укладываются в витки времени. Время становится спиралью, оно становится счётным.

В тот день, когда в 1589 г. Галилео Галилей, стоя на молитве в Пизанском соборе, понял, что качания люстры собора всегда одинаковы по времени независимо от величины размаха, изобретение часов с маятником было обеспечено; а с ними расцвели механика и астрономия Нового времени. Вот что такое периодические явления!



Песочные, водяные и огненные часы.



Ну а раньше? Человек измерял время мгновением ока (0,1—0,3 с), ударом сердца (0,4—1 с) и другими естественными «часами». Важнейшими же отрезками жизни были сутки, месяц и год.

Суточному ритму подчиняется всё живое на Земле, природа наградила нас часами задолго до изобретения маятника. Биологические часы определяют биение сердца, ритм дыхания, сна и бодрствования. Они будят нас утром не менее точно, чем будильник. В человеке, в животных и растениях природой заложен и биологический календарь, обеспечивающий годовой и месячный ритмы активности, роста, плодоношения, опадания листвы и линьки. Сутки, месяц и год «встроены» внутри человека вместе с «весенним настроением» или «лунной бессонницей». Это — страницы жизни человека, они скреплены его повседневной и ежегодной хозяйственной деятельностью, освящены вековой календарной традицией.

И ещё очень важно: научное знание строится на отыскании и сравнении сходных предметов и явлений, с тем чтобы можно было предсказать их поведение в будущем. Сначала человек наблюдал простейшие, самые заметные периодические явления природы: суточное вращение звёздного неба, месячное движение Луны и годовое движение Солнца по созвездиям. И когда человек впервые сказал, что за ночью обязательно придёт день, а за зимой — весна, он предсказал будущее. Он не гадал, а именно предсказал. После этого первого «научного успеха» люди принялись изучать другие повторяющиеся явления: фазы Луны, затмения Луны и Солнца, конфигурации планет — это и стало началом астрономии. Небо охотно демонстрировало свои «коловращения», на небе они видны чаще и чище, чем на Земле, потому-то астрономия — древнейшая среди наук. Наблюдение небес-

ных повторов оказало сильнейшее воздействие на мировоззрение человека. Но древний человек увидел в спирали времени только замкнутую круговорот — кольцо. Время — это змея, глотающая свой хвост. «Восходит солнце, и заходит солнце, и спешит к месту своему, где оно восходит... Что было, то и будет; и что делалось, то и будет делаться, и нет ничего нового под солнцем». Так писал библейский мудрец Екклесиаст. Кольцо времён позволяло наглядно представить безграничность времени — вечность.

Но вернёмся к науке. Желая изучить предмет глубже, исследователь разлагает его на части — анализирует. Так, день поделили сначала пополам, отметив момент, когда тень от вертикального столба была минимальной, а высота Солнца — самой большой. При этом оказалось, что дуга пути поднимающегося Солнца равна дуге Солнца опускающегося. И момент его высшего положения называли полднем. Вертикальный столб — *гномон* — древнейший астрономический прибор. Полуденная тень его всегда обращена на север, поэтому гномон



Гномоны-obelisks царицы Хатшепсут в Карнаке. Египет.



был и первым компасом. А когда от столба прочертили направление на север, он стал первыми часами, показывавшими пока только один час — полдень.

Когда вокруг гномона поставили визирь на точки восхода Солнца в День Первой Травы или в День Большой Воды, то получили прицел-календарь, позволяющий узнавать о возвращении даты через год. Правда, в каждой точке горизонта Солнце восходит дважды в году. Например, первый выгон коров на Руси был приурочен к Егорию (7 мая). В той же точке горизонта Солнце появится и 5 августа. Однако май от августа можно отличить и без прибора. Календари-гномоны позволили ещё в век «каменного приборостроения» определить продолжительность года в 360—365 дней.

Следующая научная задача — численно выразить предмет исследования, ведь справедливо сказано: «Время — это число». Начали соизмерять сутки, месяц, год. Год получался где-то 360 суток плюс ещё сколько-то. Но число 360 привело древних те-

оретиков в восторг: $3 \times 4 \times 5 \times 6 = 360$. Само небо послало людям число, делящееся без остатка на все числа от 2 до 6! Небо даровало Вавилону шестидесятиричную систему счёта: $3 \times 4 = 12$; $12 \times 5 = 60$; $60 \times 6 = 360$! А с остатком как-нибудь разберёмся. А дальше: $360 : 12 = 30$ (т. е. месяцу). Правда, Луна проходит цикл фаз за 29,5 суток. Но за незнанием дробей месяц надо принять за 29 или 30 суток. Окружность — символ годового пути Солнца — разбили на 360° . День, следуя новой системе счёта, разделили на 12 дневных часов, а ночь — на 12 ночных. Ах, как было бы хорошо, если бы году было ровно 360 суток, а в лунном цикле — 30. Не было бы проблем календаря. Но Земля обходит Солнце за 365 суток 5 ч 48 мин 45,84 с. И если в этом году Новый год начался в полночь, то не встречать же следующий в шестом часу утра! Луна же вообще пробегает вокруг Земли с очень разным личным результатом: от 29,25 до 29,85 суток. Поэтому построить во всех отношениях удобный календарь не удалось и по сей день.

ЗВЁЗДНЫЕ И СОЛНЕЧНЫЕ СУТКИ

Попробуйте сами определить продолжительность оборота Земли. Для этого смастерите визир-прицел из двух гвоздей, вбитых в доску, и установите его на штативе.

Наведите возможно точнее визир на любую звезду, зафиксируйте его положение и, отметив и непременно записав время начала наблюдений, оставьте прибор неподвижным на сутки. Вместо визира с ещё большим успехом можно использовать телескоп или зрительную трубу, так же надёжно закреплённые. Через сутки Земля, сделав оборот вокруг оси, сама нацелит визир на ту же звезду.

«Что же тут определять? — скажет эрудированный читатель. — Визир вернётся к звезде через двадцать четыре часа». Но астрономию чаще двигали вперёд Наблюдатели, чем Эрудиты. Пронаблюдайте возврат звезды. «Ну и что! — скажет Наблюдатель. — По моим часам звезда вернулась через двадцать три часа пятьдесят шесть минут, то есть почти двадцать четыре часа». И только Упорный Наблюдатель (не спеша умозаключать!) сверит ход своих часов, проведёт несколько повторных наблюдений с разными звёздами, пока не сделает — с помощью будиль-



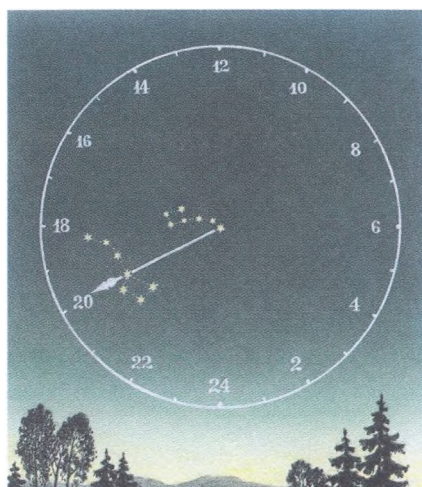
ника и пары гвоздей — сенсационное открытие: Земля делает оборот вокруг оси не за 24 ч, как написано во многих книжках, а за 23 ч 56 мин! Об этом можно рассказывать всем, потому что это истина.

Мы сделали всё правильно. Мы измерили время оборота нашей планеты относительно очень далёких небесных тел — звёзд, которые за сутки никак не могли заметным образом изменить своё положение на небесной сфере. Вот если бы мы измерили с помощью визира время оборота Земли относительно Луны, то получили бы «сутки», равные 24 ч 49 мин. Ведь пока наша планета совершала свой оборот (23 ч 56 мин), Луна тоже забежала вперёд по орбите вокруг Земли, и вдогонку Луне Земля будет «доворачиваться» ещё 53 мин.

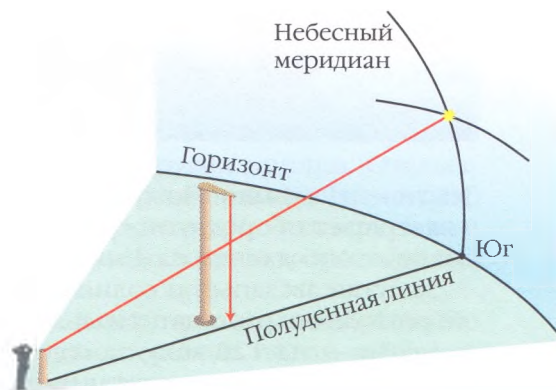
Но что же это за сутки — 23 ч 56 мин? И что тогда показывают обычные часы? И откуда 4 мин разницы? Назовём сутки, измеренные по звёздам, *звёздными*, так же как мы вправе ввести понятие «лунные сутки Земли» — 24 ч 49 мин, хотя такого термина сейчас в науке нет. И снова перейдём к наблюдениям, на сей раз за Солнцем.

Днём на Солнце в визир не посмотришь. Гвоздь без шляпки, вбитый в доску строго вертикально и установленный на подоконнике, вполне заменит нам величественные египетские гномоны-обелиски. На доске-экране проведём от основания гномона луч-стрелку и в 12 или 13 ч по своим рабочим часам повернём подставку так, чтобы стрелка легла вдоль тени гномона. Дальнейшие наблюдения за тенью в течение суток покажут: интервал между двумя полуднями составляет 24 ч.

Мы провели не очень точные, упрощённые наблюдения, которые тем не менее позволили нам приобщиться к астрономическим исследованиям и наглядно убедиться, что есть звёздные сутки — это время



Звезда δ Большой Медведицы, Мегрец («корень хвоста»), помогает определить звёздное время. Отсчёт идёт от точки севера (под Полярной) против часовой стрелки, а «стрелкой» служит линия Полярная — Мегрец. На циферблате 24 часа.



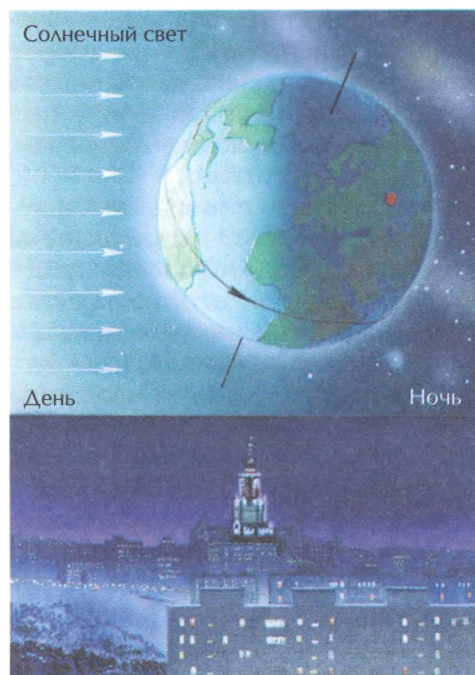
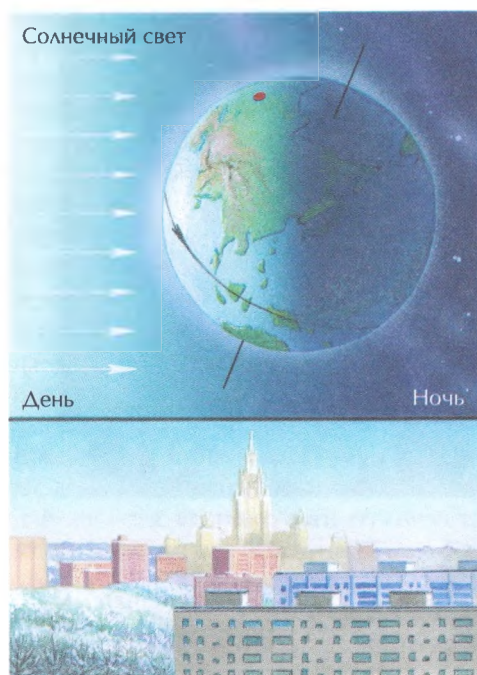
Проверка хода звёздных часов с помощью нитяного пассивного инструмента. При наблюдениях нить отвеса и столбик с визирным отверстием обозначают небесный меридиан. Звёздное время равно прямому восхождению звезды, пересекающей меридиан: $S = \alpha$.

полного оборота Земли в пространстве, а есть *солнечные сутки* — время оборота планеты относительно центра Солнца.

Солнечные сутки подобны «лунным». Вследствие движения вокруг Земли Луна каждые сутки смещается на фоне звёзд на 13° , и Земля доворачивается до полного оборота относительно Луны ещё 53 мин. Вследствие движения Земли вокруг Солнца оно для земного наблюдателя тоже смещается на фоне звёзд — на 1° за сутки. А скорость вращения



Смена дня
и ночи
на Земле.



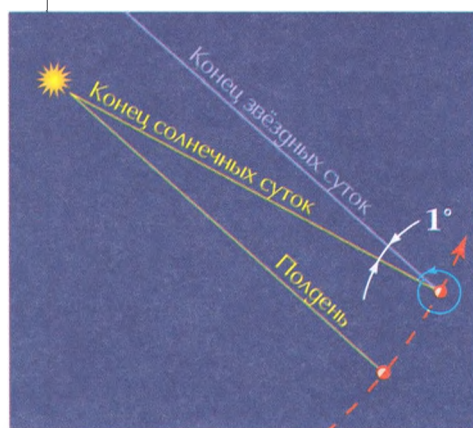
Земли — 1° в 4 мин. Потому-то она и завершает оборот относительно Солнца с опозданием на 4 мин.

За сутки звёздный и солнечный обороты Земли расходятся на 4 мин, за месяц — на 120 мин, за год — на 24 ч. Так же расходятся и часы, отмеряющие звёздное и солнечное время. В году звёздных суток на одни больше, чем солнечных. И только раз в год, а именно в момент осеннего равноденствия, звёздное время совпадает с солнечным.

Человек живёт днями и ночами, он живёт солнечными сутками. Но в любой обсерватории есть часы, которые идут по звёздному времени — каждые сутки на 4 мин вперёд. Они нужны для организации наблюдений. По нижнему краю звёздной карты проставлены часы и минуты. Это — прямое восхождение светил. Прямое восхождение Сириуса — 6 ч 41 мин. Это означает, что в указанное время по звёздным часам в любой день года Сириус оказывается точно на юге, на меридиане. Взглянув на звёздные часы и на карту, легко сообразить, какие звёзды сейчас удобны для наблюдения.

Часовщик может отрегулировать ваш механический будильник, заставив его спешить на 4 мин в сутки, т. е. идти по звёздному времени. А в ежегодных астрономических календарях есть таблица «Звёздное время в среднюю полночь», позволяющая правильно поставить стрелки ваших звёздных часов.

Астрономы сверяют звёздные часы со звёздами. Делается это с



Солнечные сутки примерно на 4 мин длиннее звёздных из-за того, что Земля одновременно вращается вокруг оси и обращается вокруг Солнца. Поэтому для нового появления Солнца на меридиане Земле необходимо повернуться вокруг оси чуть больше одного раза.



помощью пассажного инструмента — телескопа, особым образом укрепленного. Зрительная труба может быть повернута только вокруг горизонтальной оси, а ось закреплена в направлении запад-восток. Таким образом, инструмент поворачивается от точки юга через зенит и полюс мира к точке севера, т. е. он

отслеживает небесный меридиан. Вертикальная нить в поле зрения трубы служит отметкой меридиана. Выбирают для наблюдения звезду, узнают по каталогу её прямое восхождение. В момент прохождения звезды через меридиан (в верхней кульминации) звёздное время равно её прямому восхождению.

В ПОИСКАХ НАДЁЖНЫХ ЧАСОВ

Образованному человеку свойственно проводить в каждой области точные исследования до таких пределов, какие допускает природа дела.

Аристотель. «Метафизика»

Уже через 25 лет после изобретения маятниковых часов удалось создать настолько точный часовой механизм, что его с успехом стали использовать для наблюдений в обсерваториях. Первым его применил английский королевский астроном и первый директор Гринвичской обсерватории Джон Флемстид в 1676 г. при составлении большого звёздного каталога «Британская история неба».

От Флемстида идёт традиция проверки и изучения хода астрономических часов. Он «наблюдал часы», изучая их ход, как наблюдают движение новой планеты.

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ЧАСАМИ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Любые механические часы, даже если они наилучшим образом отрегулированы, непременно или спешат, или отстают. Кроме того, все часы идут неравномерно: иногда быстрее, иногда медленнее — в зависимости от качки, тряски, температуры, ат-

мосферного давления, загрязнения и старения механизма, настройки и многих других причин. Отсюда следует первое правило Флемстида: часы надо регулярно проверять, желательно раз в сутки в одно и то же время.

Раньше астрономы это делали по звёздам, переводя потом звёздное время в среднее солнечное (см. статью «Местное время»), по которому и идут часы. Теперь они пользуются специальными сигналами времени, более точными, чем звуковые сигналы по радио или часы на телеэкране: астрономам нужна точность до тысячных долей секунды. Астрономам-любителям для большей части наблюдений достаточно точность порядка 1 с.

Правило второе: проверять — это не значит подводить каждый день стрелку часов. Смысл в том, чтобы изучить их «нрав» и «повадки», определяя поправку часов и заноса её в журнал наблюдений.

В момент сигнала точного времени T следует записать показания часов T_1 с точностью до секунды. Ещё лучше, если удастся уловить $1/2$, $1/3$ или $1/4$ с. Далее вычисляется поправка



часов. *Поправка часов* — это та величина, которую надо прибавить к показаниям часов, чтобы получить точное время. Если часы отстают, то их поправка имеет знак «плюс». У спешащих часов поправка отрицательная.

Правило третье: нужно изучить суточный ход часов и его вариации. Важно, чтобы независимо от средней поправки ход часов от суток к суткам изменялся достаточно умеренно.

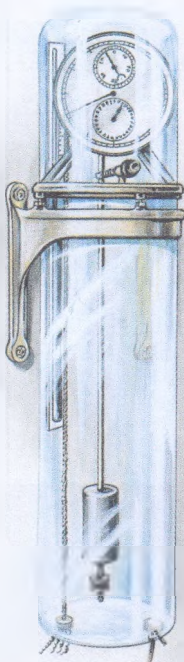
Теперь о том, как часы используются в качестве инструмента наблюдения. Допустим, вы наблюдаете в бинокль покрытие звезды Луной. Часы перед вами. Когда звезда исчезла за ночным, невидимым краем Луны, вы фиксируете время. Затем ко времени наблюдения, записанному по часам, прибавляется поправка часов из журнала и ещё поправка, набежавшая за период со времени их последней проверки.

ЧАСЫ СТАНОВЯТСЯ ВСЁ ТОЧНЕЕ

Первые гринвичские ходики Флемстида давали суточную вариацию хода ± 3 с! И потом астрономы ещё 300 лет пользовались механическими часами с маятником, постепенно становившимися всё точнее. Для достижения более высокой точности их прятали в подвалах обсерваторий, оберегая от колебаний температуры, помещали под колпаки барокамер, предохраняя от атмосферных из-

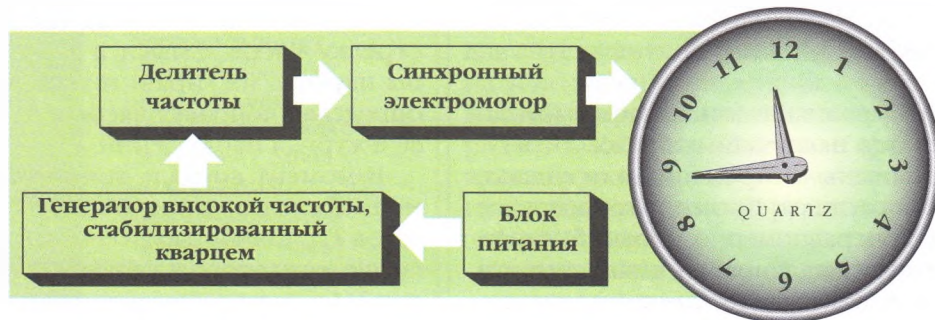
менений, изобретали хитроумные маятники, практически не менявшие своей длины, и подвесы почти без трения. Часы, подобно современным авиалайнерам, гордо носили имена своих конструкторов: Дент, Рифлер, Леруа. А конструкторы между тем, совершенствуя маятник и подвес, выбрасывали из детища Христиана Гюйгенса (это он в 1657 г. изобрёл маятниковые часы со спусковым механизмом) всё подряд: кукушку, гири с цепями, все колесики — включая главное спусковое колесо и даже циферблат со стрелками, — пока от часов не остался только маятник под колпаком с электромагнитами, батареей и проводами. Провода шли к циферблату, находившемуся в верхнем помещении обсерватории. Эти «остатки» часов, появившиеся в 1925 г., назывались часами Шорта и имели колебания хода $\pm 0,002$ с в сутки (обычно пишут: $2 \cdot 10^{-3}$ с). Последним усовершенствованным маятником были часы Федченко, созданные в 1954 г., их точность составляла $3 \cdot 10^{-4}$ с.

Впрочем, часы Федченко появились на свет слишком поздно. В 1939 г. из часов была выброшена главная деталь — механический маятник. С этого года в обсерваториях стали использоваться кварцевые часы. В них роль маятника, т. е. регулятора хода, выполняет кварцевая пластинка, вырезанная из цельного кристалла. Если к ней подвести электрический ток, она начинает колебаться с заданной частотой. Хорошие часы, управле-



▲ Астрономические маятниковые часы Шорта.

► Схема кварцевых часов.





мые кварцевой пластинкой, имеют вариации хода 10^{-4} — 10^{-6} с в сутки. У кварцевых часов, повысивших точность астрономических измерений в 100 раз, есть свой недостаток. Кварцевая пластинка со временем стареет, и это ведёт к неуклонному замедлению хода часов примерно на 10^{-6} с в сутки.

Кварцевые часы царствовали в астрономии 20 лет, в 1960-х гг. их сменили атомные. В них в роли маятника выступают атомы цезия, они излучают кванты энергии, соответствующие строго определённой частоте колебаний. Отклонение хода у атомных часов 10^{-10} — 10^{-11} с в сутки. Но и у них есть свой недостаток: они не могут идти непрерывно. Работая в паре с кварцевыми часами, атомные часы подобны камертону: цезиевый генератор время от времени даёт настрой кварцевым часам, а кварцевый резонатор сохраняет уточнённое время до следующего включения атомного камертона. Придуманы и опробованы настроечные часы с другими атомами-маятниками: водородные, рубидиевые, но цезиевые атомные часы пока остаются главными.

Вникнуть в устройство атомных часов труднее, чем понять, как идут ходики. Современные сверхточные часы — сложные электронные приборы. Астрономы должны уметь грамотно пользоваться ими при наблюдениях за небом... и за Землёй тоже.

ВРАЩАЕТСЯ ЛИ ЗЕМЛЯ РАВНОМЕРНО?

Веками с вращением Земли люди сверяли ход часов. Когда были созданы часы с фантастически равномерным ходом, появилась возможность проверить: а вращается ли Земля равномерно?

Ещё Иммануил Кант, развивая Ньютонову теорию приливов, доказал в 1754 г., что вращение Земли должно



Цезиевые атомные часы NIST-F1 Национального института стандартов и технологий США.

замедляться. В самом деле, притяжение Луны вздымает в Мировом океане два приливных «горба» — подлунный и противолунный. Земля, вращаясь, проворачивается между ними так, как если бы две громадные волны непрерывно перекатывались навстречу её вращению. Таким образом, приливы должны тормозить Землю. «Правда, — писал Кант, — если сопоставить мягкость этого торможения с быстротой вращения Земли, ничтожность волн — с огромной тяжестью земного шара, то может показаться, что действие приливов можно считать равным нулю. Но если принять во внимание, что этот процесс совершается неустанно, что он длится от века и будет продолжаться всегда, что вращение Земли есть свободное движение, для которого потеря малейшего количества остаётся невозмещённой, между тем как причина замедления действует непрерывно, то было бы совершенно неподобающим предрассудком объявить недостойным внимания такое незначительное воздействие».

Два века спустя часы Шорта и кварцевые часы подтвердили правоту Канта. Более того, оказалось, что Луна в паре с Солнцем вызывают приливы ещё и в атмосфере, и в земной коре, поскольку под корой тело Земли ведёт себя как жидкость. Дважды в сутки Луна приподнимает людей над центром



Земли на 50 см. Все виды приливов в сумме тормозят вращение нашей планеты так, что сутки удлиняются на 3,3 с каждые 100 тыс. лет.

Зато другая причина, наоборот, заставляет планету вертеться быстрее — на 1 с за 100 тыс. лет. Эта при-

чина — сжатие, уменьшение объёма Земли, вызванное уплотнением вещества в её недрах (возможно, здесь сказывается и таяние ледников). В результате действия приливов и «утрамбовки» Земли сутки удлиняются на 2,3 с за 100 тыс. лет.

МЕСТНОЕ ВРЕМЯ

КОТОРЫЙ ЧАС В ВАШИХ КРАЯХ?

Посмотрев вечером, как повёрнута относительно Полярной звезды Большая Медведица, можно определить час звёздного времени. Истинное солнечное время узнают с помощью солнечных часов, стрелкой в которых служит тень от прямого стержня. Когда Солнце над южной точкой горизонта, тень падает точно на север — это истинный солнечный полдень. Если регулярно проверять такие безупречно построенные часы по сигналам точного времени, то можно убедиться, что они почти всегда показывают время, не совпадающее с тем, по которому мы живём, на несколько минут.

Если бы достаточно равномерно вращающийся земной шар так же равномерно обращался вокруг Солнца по круговой орбите, а ось Земли была перпендикулярна плоскости орбиты, тогда и Солнце по небу, и его часы на Земле тоже шли бы равномерно. Но, во-первых, Земля движется по эллипсу неравномерно, в соответствии со вторым законом Кеплера (см. статью «Иоганн Кеплер»). А во-вторых, наклон земной оси к экватору — это ещё одна причина разной продолжительности суток.

Чтобы все сутки в году были одинаковы, люди придумали «среднее

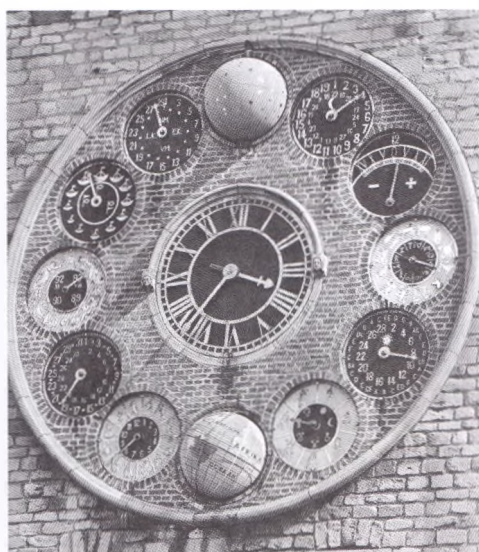
Солнце». Это воображаемое Солнце в отличие от настоящего движется вокруг Земли, и притом не по эклиптике, а по небесному экватору. Оно перемещается совершенно равномерно; «выравненное» время, по которому мы живём, называется средним солнечным временем.

Ход солнечных часов можно уточнить, пересчитать, используя график уравнивания времени. На графике по горизонтали отложены месяцы года, а по вертикали мы узнаём, сколько минут надо прибавить или отнять от показаний солнечных часов, от истинного солнечного времени, чтобы получить среднее солнечное время.

Если же быть совсем точным, как и подобает астроному, к названиям этих времён надо добавлять слово «местное»: местное звёздное время и т. д.

Наиболее удобно в обиходе местное среднее солнечное время. Во-первых, оно связано с ритмом день-ночь, а во-вторых, это время — в отличие от истинного солнечного — равномерно и потому приспособлено и для обычных ходиков, и для электронных часов. И пока в мире не было железных дорог с их поминутным расписанием поездов, каждый город жил по местному времени, а деревни — по петухам и по времени, «привезённому» в базарный день из города. А время во всех городах было своё. В Петропавловске-Камчатском летнее солнце подходит к закату, в Санкт-Петербурге два часа





На городской башне фламандского города Лира расположены часы с 13 циферблатами. Они показывают время на всех континентах, лунные фазы, положение звёзд относительно горизонта и другие данные закономерных явлений природы.

дня, а где-нибудь в Лиссабоне ещё не наступил полдень.

В городах, расположенных на одном меридиане, например в Архангельске, Вологде, Рязани, Донецке, Сочи, турецком Трабзоне, местное время одно и то же, а при перемещении с запада на восток оно будет заметно меняться. На средних широтах России в 15 км к востоку время на 1 мин больше. Когда в Москве полдень, во Владимире местное время 12 ч 11 мин 12 с, а в Можайске полдень наступит через 6 мин.

В московском метро, например, между станциями Молодёжная и Щёлковская разница в местном времени 91 с, а расписание поездов составлено с точностью до секунды. Естественно, что транспортная система должна жить по единому времени. Поэтому движение поездов через все станции России происходит по московскому времени.

Астрономический календарь, в сущности, то же расписание движения. Например, движения земной тени по Луне во время лунного затмения. Для всех наблюдателей на Земле оно начинается одновременно, но по какому времени? Конечно, по всемирному.

За всемирное время принято местное среднее солнечное время Гринвичской обсерватории в Лондоне, через которую проведён нулевой меридиан Земли.

Все сигналы точного времени соответствуют минутам и секундам всемирного времени. При этом астрономическая Служба времени постоянно следит за неравномерностью вращения Земли по атомным часам и по мере необходимости добавляет, а иногда и отнимает «високосную» секунду в самом конце года, так же, как раз в четыре года в календарь вставляют лишний день — 29 февраля. Поэтому в последней минуте перед Новым годом (по всемирному времени) может быть и 59, и 60, и 61 с. Об этом астрономическая служба оповещает заранее.

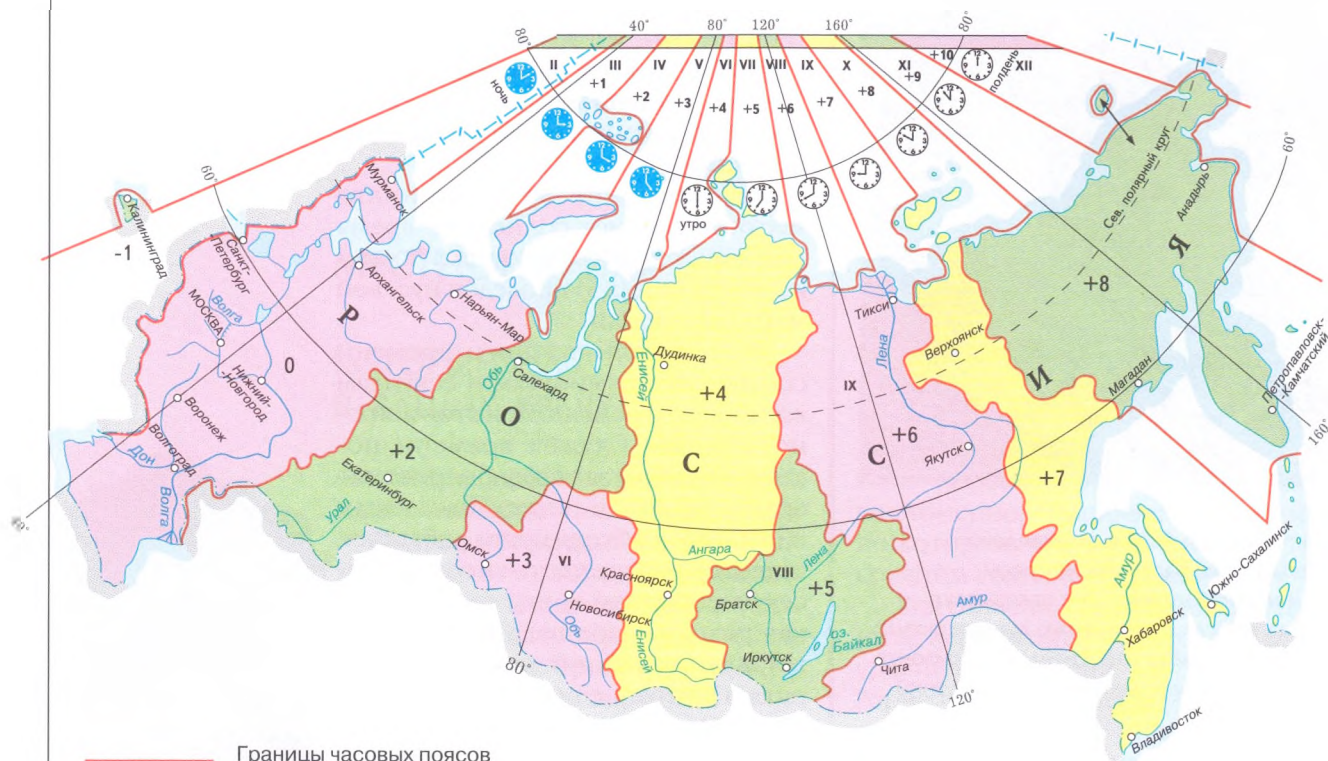
Но жить в средней полосе России по одним часам с лондонцами неудобно. Это означает просыпаться

Гринвичская обсерватория.





ЧАСОВЫЕ ПОЯСА РОССИИ



Границы часовых поясов

III Номера часовых поясов

+4 Величина разницы времени часового пояса с московским (в часах)

Время данного часового пояса, когда в часовом поясе I полночь

Примечание. На территории Российской Федерации действует следующий порядок исчисления времени: поясное время плюс один час с дополнительным переводом часовой стрелки ежегодно в последнее воскресенье марта в 2 часа на один час вперёд и в последнее воскресенье октября в 3 часа на один час назад.

Карта часовых поясов России.

в 10—11 ч утра и ложиться спать далеко за полночь. Поэтому в развитие хорошей идеи всемирного времени придумали поясное время. Для этого выбрали 24 главных земных меридиана с долготой 0°, 15°, 30°, 45° и т. д. На каждом из этих меридианов местное время отличается от всемирного на целое число часов, а минуты и секунды совпадают с гринвичскими. От каждого из этих меридианов отмерили влево и вправо по 7,5° и провели границы часовых поясов. На территории такой «мандариновой дольки» время

всюду одинаковое и отличается от соседних поясов ровно на час.

Нулевой часовой пояс лежит по обе стороны от Гринвичского меридиана. В этом поясе, называемом также западноевропейским, живут по всемирному времени. Восточнее расположен первый пояс средне-европейского времени. По средне-европейскому времени живёт Калининградская область России. Второй часовой пояс называется восточноевропейским. Россия лежит в границах 12 часовых поясов. В системе поясного времени, при-



нятой во всём мире, кроме Саудовской Аравии, все часы показывают одинаковые минуты и секунды, а часовая стрелка при пересечении границы пояса переводится ровно на час вперёд или назад в зависимости от направления движения. Если бы границы часовых поясов проходили точно по заданным меридианам, то Москва оказалась бы сразу в двух поясах — во втором и третьем, и часы надо было бы переводить то туда, то обратно каждый раз при перемещении из одного района города в другой. Поэтому для удобства реальные границы часовых поясов провели по границам государств и областей, по рекам и горным хребтам.

Итак, даже Москва со своим «московским временем» живёт не по собственному местному времени, а по времени меридиана 30° восточной долготы, проходящего через середину второго часового пояса. На этом меридиане расположены Сестрорецк, Луга, Дно, Невель, в которых солнечный полдень на полчаса позже, чем в Москве. Так что это время правильнее называть «лужским» или «невельским».

Следом за средним и поясным временем человек придумывает всё новые удобные ему времена. Известна, например, склонность людей позже ложиться спать и позже вставать. Может быть, перевести все часы в государстве на час вперёд? Человек увидит, что на часах уже восемь, и встанет охотнее, чем если бы они показывали семь утра. Так появилось зимнее время. В России зимой наши часы поставлены на час впереди поясного времени. (Многие об этом не догадываются, потому что это сделано давно, 16 июня 1930 г.) А в конце марта россияне переводят стрелку на час вперёд (ещё на один час!) и до конца октября живут по летнему времени, с ноября же опять начинается зимнее время.

А КОТОРЫЙ ДЕНЬ В ВАШИХ КРАЯХ?

С таким вопросом обратился благородный рыцарь Антонио Пигафетта, участник и историограф экспедиции Фернана Магеллана, к жителям островов Зелёного Мыса, когда последний уцелевший корабль флотилии, возвращаясь из кругосветного плавания, уже направлялся к родным берегам. Какая-то смутная мысль третий день тревожила синьора, и ему никак не удавалось прояснить её. Вот как писал он об этом в дневнике: «9 июля 1522 г. Чтобы определить, не ошиблись ли мы в счёте дней, мы поручили сошедшим на берег спросить, какой сегодня день недели. Они выяснили у жителей острова — португальцев, что сегодня четверг. Это нас сильно удивило, так как, по нашему мнению, была только среда. Мы не могли поверить, что ошиблись. Я же был удивлён более других, поскольку, пребывая всегда в добром здравии, отмечал каждый день без исключения, описывая все события дня. Тут мы сообразили, что ошибки с нашей стороны не было, но так как мы всё время плыли на запад, догоняя Солнце, и вернулись к тому же месту, то должны были выиграть двадцать четыре часа, что станет ясно всякому, кто поразмыслит над этим».

Похожая история случилась и с русскими землепроходцами, пришедшими 250 лет назад на Аляску и в Калифорнию. Там они встретились с колонистами, приплывшими с востока — из Англии, Франции, Португалии. Между путешественниками и колонистами постоянно возникали споры о том, какое сегодня число и день недели. Русские справляли воскресенье, а англичане говорили, что сегодня ещё суббота. Русские шли в Америку с запада, из Сибири, навстречу Солнцу и понемногу при-



КАЛЕНДАРЬ

Главное назначение календаря — дать простой способ привязывать события к последовательности дней и лёгким способом фиксировать в одном и том же сезоне начало года.

Если бы календарный год был постоянно равен 365 суткам, его начало всегда опережало бы начало истинного года на 5 ч 48 мин, и день Нового года проходил бы через все времена года за период около 1508 лет. Но такой год, некогда применявшийся в Египте, лишает календарь удобства относить месяцы и праздники к одним и тем же природным сезонам и отмечать сроки, важные для сельского хозяйства.

Можно было бы сохранить это ценное для сельских жителей преимущество, добавляя в году дополнительный день через четыре или пять лет, как только нарастут полные сутки. Именно так было сделано во Франции в конце XVIII в. Но в этом случае високосные годы, или годы в 366 суток, включались по очень сложному закону и было трудно разложить какое-нибудь число лет на дни, что вносило бы путаницу в историю и хронологию... Следовательно, здесь надо отступить от природы и прибегнуть к искусственному, но регулярному и удобному методу включения високосных годов. Самый простой из них — это метод, введенный Юлием Цезарем в римском календаре. Он состоит во включении високосного года раз в четыре года. Если даже срок человеческой жизни достаточен, чтобы ощутимо отодвинулось начало счёта египетских лет от солнцестояния или равноденствия, то требуется несколько веков, чтобы осуществилось такое же отклонение начал счёта юлианских лет.

В XI в. персы придумали способ, замечательный в своей точности и простоте. Он состоит в том, чтобы делать високосным годом каждый четвёртый год семь раз подряд, а восьмой раз заменять високосным лишь пятый год. Персидский год только на 0,0001823 дня длиннее года, определяемого из астрономических наблюдений. Понадобилось бы несколько тысячелетий, чтобы заметно сместить начало гражданского года.

Способ включения дней в григорианском календаре — в календаре по новому стилю — несколько менее точен, но позволяет проще переводить годы и века в дни, а это и является одним из главных назначений календаря. Он состоит в том, чтобы считать високосным каждый четвёртый год, исключая его в конце каждого века, кроме каждого четвёртого столетия. Средняя длина григорианского года равна 365,242500 суток, что на 0,0002581 суток — на 22 секунды — длиннее истинного года. Но если, следуя аналогии такого способа, исключать ещё один високосный год каждые четыре тысячи лет, то длина года настолько приблизится к его длине, определённой из наблюдений, что можно пренебречь их разностью, учитывая к тому же, что длина года не совсем постоянна.

Совокупность ста лет образуют век — самый длинный период, применяемый до сих пор для измерения времени, так как самые древние известные нам явления пока не требуют более длинных периодов.

*По книге Пьера Симона Лапласа
«Изложение системы мира». 1796 г.*

бавляли время, а прочие двигались с востока, следом за Солнцем, и истинное солнечное время для них текло медленнее. В районе Сан-Франциско, Форт-Росса и Санта-Барбары их часы разошлись ровно на сутки. Впрочем, встреченные там испанцы в этом споре русских поддерживали, потому что сами приплыли через Тихий океан.

Кто же прав? Ответить на этот вопрос невозможно, если нет договорённости о линии смены даты. Для путешествующего вокруг Земли непременно должна быть где-то граница, выпускающая странника в новую дату и день недели. Такая граница была проведена только в XIX в.

Международная линия смены даты проходит через Берингов пролив



между островами Тихого океана от полюса до полюса.

Есть в Беринговом проливе два острова: остров Ротманова, самая восточная точка России, и в 12 км к востоку — остров Крузенштерна, территория США. Между ними проходят государственная граница и линия смены даты. На острове Ротманова зимнее время на 13 ч впереди всемирного, на острове Крузенштерна — на 11 ч позади. Следовательно, на обоих островах часы постоянно показывают одинаковое время, они находятся в одном часовом поясе, а разница в дате составляет всегда целые сутки. В полночь, естественно, дата меняется и там и там, но на рус-

ском острове по-прежнему остаётся на сутки впереди.

По международным правилам, если человек пересёк границу смены дат с запада на восток, то он, гость, например, в Америке, до конца суток будет жить по своей старой дате, а следующие сутки по той же дате уже вместе с американцами. Если в пятницу вечером с острова Крузенштерна отправиться на оленях на остров Ротманова, а потом в российское воскресенье снова вернуться в Штаты, у вас будет три выходных в неделю.

Отыщите на карте эти волшебные острова. Там 104 воскресенья в году!

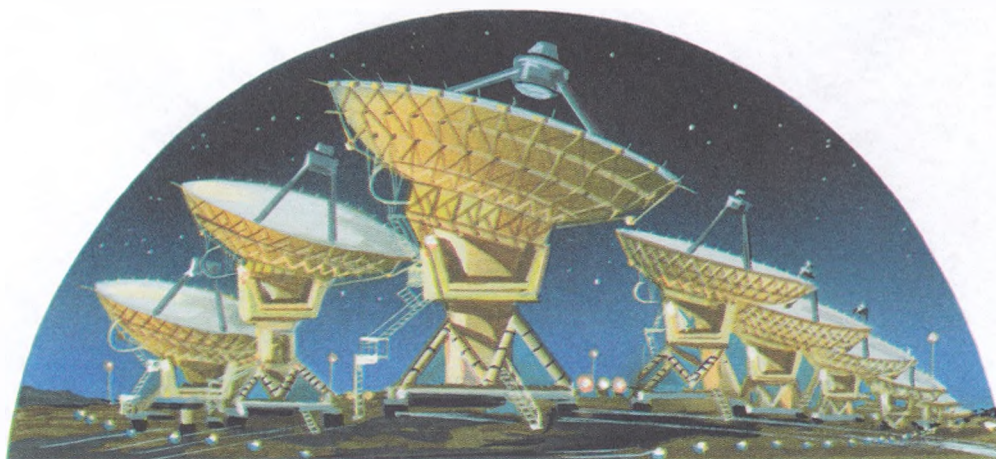




КАК АСТРОНОМЫ ИЗУЧАЮТ ВСЕЛЕННУЮ







РАДУГА ВСЕЛЕННОЙ

ВСЕВОЛНОВАЯ АСТРОНОМИЯ

По мере развития астрономия постоянно изменяет свой характер. Её цели и возможности определяются уровнем науки и техники, на котором базируются методы наблюдений. До начала XX в. это были оптические наблюдения, т. е. наблюдения видимого излучения небесных тел.

Свет представляет собой электромагнитные волны. Диапазон длин волн видимого света довольно узок — от 0,00039 до 0,00076 мм. Специалисты часто используют более мелкие единицы: микрометры ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$), нанометры ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) или ангстремы ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$). К примеру, длина волны жёлтого света приблизительно равна 5800 Å.

Смешивая в различных пропорциях краски нескольких основных цветов, живописец получает бесчис-

ленное множество оттенков. «Палитра» современного астронома-спектроскописта, исследующего видимое излучение, состоит из многих тысяч отдельных цветовых участков, или спектральных интервалов. Их выделяют при помощи высокоточных приборов — спектрографов, спектрометров, специальных светофильтров и т. п.

Кажется удивительным, что всё многообразие красок природы уместается в узенькую полоску спектра, а обширные области электромагнитного излучения можно «увидеть» только с помощью специального оборудования. Но природа ничего не делает зря. Дело в том, что земная атмосфера лучше всего пропускает как раз видимый свет да ещё радиоволны УКВ-диапазона. Губительные



для жизни на Земле жёсткие ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи поглощаются атмосферой.

Изобретение фотографии, а затем различных фотоэлектрических приёмников излучения, использование радиоприёмников с большими антеннами для измерения космического радиоизлучения и, наконец, вынос приборов за пределы земной атмосферы необычайно расширили возможности астрономических наблюдений. Во второй половине XX в. астрономия уже могла извлекать информацию практически из любого диапазона спектра электромагнитного излучения — от длинных радиоволн до коротковолновых

гамма-лучей. Сегодня мы говорим об инфракрасной и радиоастрономии, рентгеновской и гамма-астрономии, наземной и внеатмосферной.

Электромагнитное излучение испускается не непрерывно, а отдельными порциями — *квантами*. Энергия кванта определяется длиной волны излучения. По формуле Планка

$$E = h \frac{c}{\lambda},$$

где E — энергия кванта, $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость распространения излучения, λ — длина волны.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СПЕКТР, ИССЛЕДУЕМЫЙ В АСТРОФИЗИКЕ

Область спектра	Длины волн	Прохождение сквозь земную атмосферу	Методы исследования	Приёмники излучения
Гамма-излучение	$\leq 0,01$ нм	Сильное поглощение O, N ₂ , O ₂ , O ₃ и другими молекулами воздуха	В основном внеатмосферные (космические аппараты)	Счётчики фотонов, ионизационные камеры, фотоэмульсии, люминофоры
Рентгеновское излучение	0,01—10 нм	»	»	»
Далёкий ультрафиолет	10—310 нм	»	Внеатмосферные	Фотоэлектронные умножители, фотоэмульсии
Ближний ультрафиолет	310—390 нм	Слабое поглощение	С поверхности Земли	»
Видимое излучение	390—760 нм	»	»	Глаз, фотоэмульсии, фотокатоды, полупроводниковые приборы
Инфракрасное излучение	0,76—15 мкм	Частые полосы поглощения H ₂ O, CO ₂ и др.	Частично с поверхности Земли	Болометры, термодпары, фотосопротивления, специальные фотокатоды и фотоэмульсии
»	15 мкм — 1 мм	Сильное молекулярное поглощение	С аэростатов	»
Радиоволны	> 1 мм	Пропускается излучение с длиной волны около 1 мм, 4,5 мм, 8 мм и от 1 см до 20 м	С поверхности Земли	Радиотелескопы



Поэтому электромагнитное излучение часто характеризуют энергией квантов. Очевидно, что наибольшую энергию несут кванты коротковолнового излучения.

За единицу измерения энергии квантов обычно принимают электронвольт (эВ). Это энергия,

которую приобретает свободный электрон, ускоренный электрическим полем с разностью потенциалов в 1 вольт. $1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Кванты видимого излучения обладают энергиями 2—3 эВ и занимают лишь небольшую область исследуемого в астрофизике электромагнитного спектра, который простирается от значений энергии порядка миллионных долей электронвольта для метровых радиоволн до миллионов электронвольт для гамма-излучения. Между радиоволнами и гамма-лучами последовательно располагаются инфракрасное, визуальное (видимое), ультрафиолетовое и рентгеновское излучения.

Земная атмосфера сравнительно хорошо пропускает видимое излучение. В более коротковолновых участках спектра поглощение сказывается значительно сильнее, так что излучение из космоса проникает только до некоторой высоты над уровнем моря. Сильнее всего атмосфера поглощает коротковолновое, т. е. ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение. Эта область спектра, за исключением близкого ультрафиолета (310—390 нм), доступна для наблюдений только с высотных ракет и космических аппаратов.

В сторону длинных волн от видимой области спектра расположены область инфракрасного (ИК) излучения и радиоволны. Большая часть ИК-излучения, начиная примерно с длины волны 1 мкм, поглощается молекулами воздуха, главным образом водяного пара и углекислого газа. С Земли можно наблюдать излучение только в некоторых, довольно узких «окнах» видимости между полосами молекулярного поглощения. Остальные участки ИК-спектра доступны для наблюдений со сравнительно небольших высот и могут изучаться с аэростатов и шаров-зондов, а также на некоторых высокогорных обсерваториях.

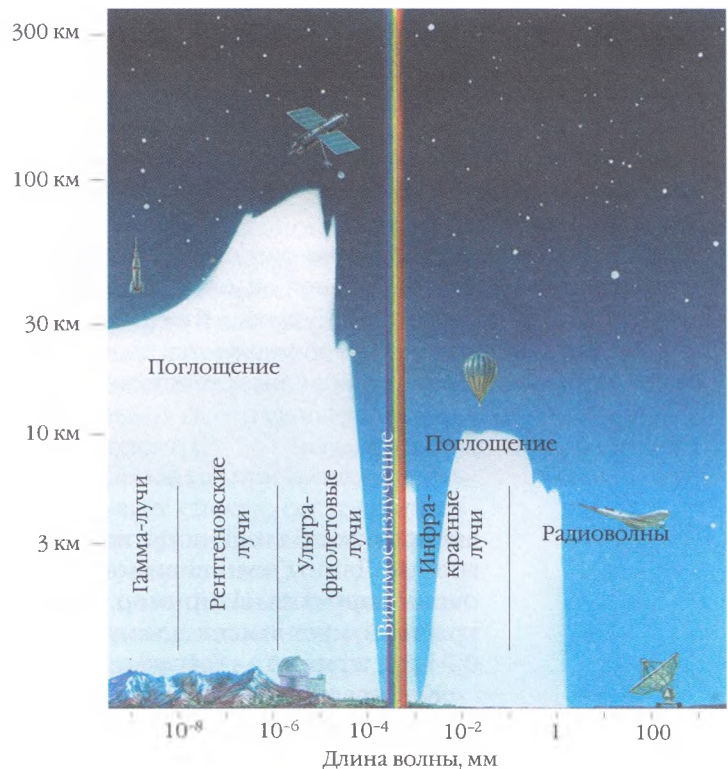
ОБЛАСТИ СПЕКТРА, В КОТОРЫХ ИЗЛУЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИМЕЕТ МАКСИМАЛЬНУЮ ИНТЕНСИВНОСТЬ

Объекты	Области спектра
Звёзды типа Солнца	Видимая
Холодные звёзды	Ближняя инфракрасная
Горячие звёзды	Ультрафиолетовая
Протозвёзды	Инфракрасная
Планеты	Видимая (отражённый свет), инфракрасная (собственное излучение)
Нейтронные звёзды, не являющиеся пульсарами	Рентгеновская
Радиопулсары	Радио
Рентгеновские пульсары	Рентгеновская
Аккреционные диски вокруг нейтронных звёзд и чёрных дыр	Рентгеновская, гамма
Холодный межзвёздный газ	Радио (отдельные линии)
Области ионизованного водорода	Ультрафиолетовая, видимая, инфракрасная (отдельные спектральные линии)
Корональный межзвёздный (межгалактический) газ	Рентгеновская
Межзвёздная пыль	Далёкая инфракрасная (собственное излучение), видимая (отражательные туманности)
Остатки сверхновых звёзд	Радио, видимая
Млечный Путь, галактики	Видимая, далёкая инфракрасная
Активные ядра галактик	»
Радиогалактики	Радио, видимая
Вспыхивающие гамма-источники	Гамма



Второе «окно прозрачности» атмосферы — это радиодиапазон. Воздушная оболочка Земли пропускает радиоволны в диапазоне примерно от 1 см до 20 м. Волны короче 1 см, за исключением узких областей около 1, 4,5 и 8 мм, полностью поглощаются нижними слоями земной атмосферы, а волны длиннее нескольких десятков метров отражаются и поглощаются самыми верхними её слоями — ионосферой.

Совокупность наземных и внеатмосферных методов наблюдений с использованием различных типов приёмников излучения позволяет принимать излучение космических объектов во всех диапазонах спектра электромагнитных волн. Это даёт основание считать современную астрономию всеволновой, представляющей нам Вселенную как гигантскую, вечно изменяющуюся картину, раскрашенную невиданными цветами и оттенками. В этой картине запечатлена вся история мироздания, тончайшие свойства и особенности каждого объекта.



Электромагнитное излучение различных длин волн поглощается земной атмосферой на разных высотах.

АНАЛИЗ ВИДИМОГО СВЕТА

РАДУГА В ТЁМНОЙ КОМНАТЕ

После дождя, когда между тучами проглядывает Солнце, на противоположной стороне неба иногда появляется красивая разноцветная арка — радуга.

О природе радуги размышляли многие. Некоторые догадывались, что её создаёт солнечный свет, проходящий через мелкие капельки дождя. (Кстати, радугу легко увидеть и в брызгах фонтана, если на него удачно упадёт солнечный луч.) Но лишь в конце XVII в. Исаак Ньютон понял причину этого явления.

Пропустив в тёмную комнату узкий пучок солнечного света, Ньютон поставил на его пути стеклянную призму. Луч, прошедший сквозь призму, он направил на белый экран. Вместо привычного солнечного зайчика учёный обнаружил яркую полоску (*спектр*), окрашенную в те же цвета, что и радуга. Цвета плавно переходили один в другой: от красного до фиолетового. Точно так же, преломляясь на поверхности водяной капли, белый солнечный свет создаёт радугу. Когда физики определили, что свет представляет собой распространяющиеся электромагнитные волны,



СЕМЬ ЦВЕТОВ РАДУГИ

Выражение «семь цветов радуги» знают все. Многие могут их перечислить: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый. Эти цвета закодированы в легко запоминающейся фразе: «Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан».

С точки зрения физики «семь цветов» — это условность. Цвет определяется длиной волны — величиной непрерывной, а следовательно, имеющей не семь и не семьдесят семь, а бесчисленное множество значений, между которыми нельзя провести никаких естественных границ.

Так сколько же цветов у радуги?

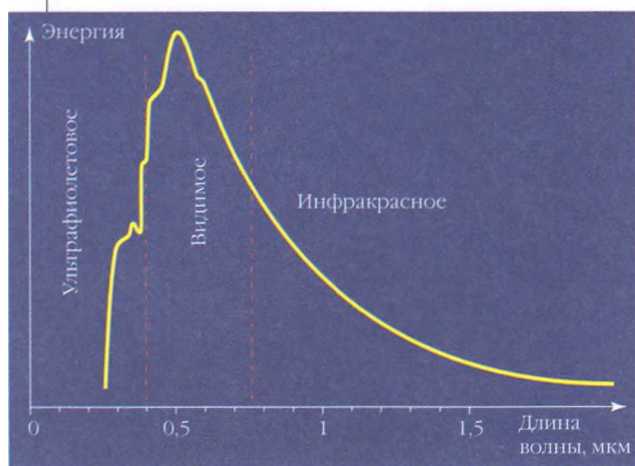
Вместо «цвета» ввели понятие «длина волны». Длины волн видимого света очень короткие. Например, тёмно-красный цвет имеет длину волны 0,7 мкм, а синий — 0,4 мкм.

Как правило, в излучении звёзд и других космических объектов встречаются лучи всех цветов. Но количество энергии, излучаемой звездой, на разных длинах волн неодинаково. Так, в излучении Солнца больше всего энергии приходится на лучи жёлто-зелёного цвета. График зави-

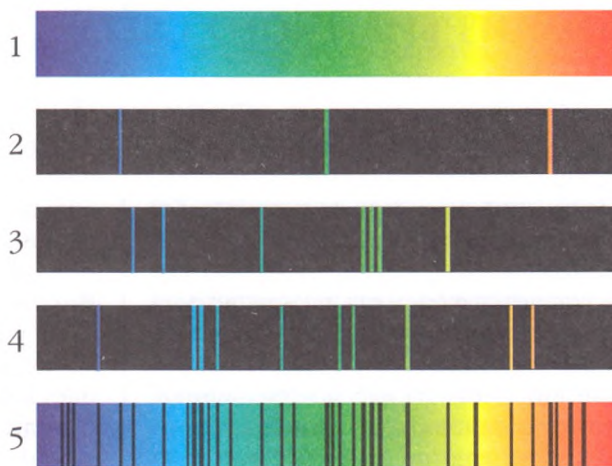
симости интенсивности излучения от длины волны называется *спектром излучения*, а метод определения свойств источника по спектру его излучения — спектральным анализом.

Спектры различных источников не похожи друг на друга. Спектр излучения разреженного газа представляет собой ряд отдельных узких пиков (их в зависимости от толщины называют *спектральными линиями* или *полосами*). Спектр же излучения твёрдого нагретого вещества напоминает горб: энергия излучается в широком диапазоне, но на некоторые длины волн её приходится больше, чем на другие. Положение «горба», т. е. длина волны, соответствующая излучению максимальной интенсивности, зависит от температуры тела. Такой спектр, в котором присутствует излучение всех длин волн, называется *непрерывным*.

Только в XIX столетии астрономы догадались, что спектром можно воспользоваться как инструментом для изучения звёзд. Исследуя спектр излучения Солнца, учёные обнаружили, что он очень похож на непрерывный



Распределение энергии в солнечном спектре. Максимум излучения приходится на видимые лучи жёлтого цвета. Так излучают тела, нагретые до 5800 К.



Типы спектров:

- 1 — непрерывный спектр;
- 2—4 — линейчатые эмиссионные спектры;
- 5 — линейчатый спектр поглощения.



спектр излучения вещества, нагретого до очень высокой температуры — около 6 тыс. градусов. Но в спектрах Солнца и звёзд на этот «горб» накладываются многочисленные провалы, различаемые на его разноцветном фоне как узкие тёмные линии. В спектре Солнца такие линии были открыты в начале XIX в. немецким оптиком Йозефом Фраунгофером.

ОТКРЫТИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Непрерывный спектр и спектральные линии оказались тем языком, на котором звёзды рассказывают о себе. Понять этот язык удалось только в середине XIX в., хотя исследования спектров проводились и раньше. Немецкий химик Роберт Вильгельм Бунзен обнаружил, что если вносить в пламя газовой горелки различные вещества, то оно окрашивается в самые разнообразные цвета. Тогда Бунзену пришла идея оценивать химический состав вещества по цвету пламени. Но вскоре он убедился, что разные вещества могут давать очень сходную по цвету окраску пламени. Так, например, в жёлтый цвет окрашивал пламя не только натрий, но и его многочисленные соединения.

Выход нашёл физик Густав Роберт Кирхгоф. Он предложил рассматривать пламя в спектроскоп — прибор для изучения спектра. Опыты начались в 1854 г. В одном из экспериментов учёный поместил перед спектроскопом спиртовую горелку. Когда в слабо светящееся пламя он подбрасывал поваренную соль (хлористый натрий), в спектроскопе появлялась ярко светящаяся жёлтая линия натрия. Затем позади натриевого пламени Кирхгоф поставил более яркий и более горячий источник света, дававший сплошной спектр (кусочек извести, накаливаемый добела в пламени водородной горелки).

Теперь в спектроскопе наблюдался яркий сплошной спектр, но на месте жёлтой линии натрия оказалась тёмная линия, совершенно такая же, как одна из фраунгоферовых линий солнечного спектра.

В 1859 г. (этот год считается датой рождения спектрального анализа) Кирхгоф сформулировал основные законы спектрального анализа:

1. Накалённое твёрдое тело, сильно нагретая жидкость (а при достаточно большом давлении — и раскалённый газ) излучают непрерывный спектр.

2. Нагретый газ при низком давлении излучает спектр, состоящий из отдельных ярких линий испускания (эмиссионных линий).

3. Газ, помещённый перед более горячим источником непрерывного излучения, создаёт в спектре источника тёмные линии (линии поглощения), которые приходятся в точности на те же длины волн, что и линии излучения этого газа.

Третий закон позволил Кирхгофу объяснить наличие тёмных линий в спектре Солнца. Они возникают потому, что непрерывное излучение внутренних раскалённых областей проходит через более холодную внешнюю газовую оболочку светила. В конце концов учёный пришёл к следующему выводу: исследуя спектры различных химических элементов, можно определить положение их спектральных линий. Зная положение линий, можно найти их в спектре Солнца или другой звезды и тем самым выявить её химический состав.

Кирхгоф отождествил большинство линий солнечного спектра с линиями таких хорошо известных элементов, как водород, железо, никель, кальций, хром, титан, натрий, магний и др. Аналогичные исследования спектров звёзд, проведённые другими учёными, установили принципиальное единство химического состава звёзд и Земли.



Триумфом спектрального анализа стало обнаружение на Солнце неизвестного тогда химического элемента — гелия. И лишь потом он был найден на Земле.

ЗАКОНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Трёх законов Кирхгофа хватило бы, чтобы выяснить, из каких элементов состоят наружные слои звёзд. Но учёных интересует и количественный состав звёзд, т. е. доля каждого элемента в общей массе звёздного вещества. Важно знать также и температуру, и давление, и скорость движения газа в атмосфере звезды... Определить все эти параметры и многое другое помогла родившаяся в первые десятилетия XX в. квантовая механика.

Для описания всех явлений, связанных с электромагнитным излучением, недостаточно знания его волновой природы. Оказывается, свет поглощается и испускается неделимыми порциями, как если бы он состоял из частиц. Эти частицы,

или кванты, света стали называть фотонами. Энергия фотона связана с длиной волны электромагнитного излучения.

Как возникают спектральные линии, можно понять на примере самого распространённого во Вселенной атома — атома водорода. Он состоит из одного протона и одного электрона. В обычном состоянии (его ещё называют основным) электрон, упрощённо говоря, вращается вокруг протона на определённом расстоянии. Энергия атома минимальна, иными словами, атом находится на низшем энергетическом уровне. Если такому атому каким-то образом передать дополнительную энергию, электрон перейдёт на более удалённую орбиту, а атом — на более высокий энергетический уровень. Законы квантовой механики утверждают, что орбиты, где может находиться электрон, строго определены. Так же строго определены и порции дополнительной энергии, которую можно сообщить атому, — они соответствуют расстоянию между орбитами. Откуда же берётся эта дополнительная энергия?

ПОЧТИ ДЕТЕКТИВНАЯ ИСТОРИЯ НЕБУЛИЯ И КОРОНИЯ

В истории спектральных исследований не обошлось и без курьёзов. В середине XIX в., изучая спектры газовых туманностей, наблюдатели обратили внимание на линии в зелёной части спектра. Эти линии никогда не встречались в спектрах звёзд, и логично было предположить, что они принадлежат новому, ещё неизвестному элементу. (История с открытием гелия, впервые обнаруженного на Солнце, всё ещё не давала наблюдателям покоя.) Новый химический элемент получил название «небулий» (от лат. *nebula* — «туманность»). Спустя некоторое время в спектре солнечной короны (внешней части атмосферы), снятом при полном затмении Солнца, были отмечены линии, которые тоже не удалось отождествить ни с одним из известных

элементов. Новооткрытому элементу дали имя «короний». Казалось, налицо ещё один триумф спектрального анализа.

Однако в 1920-х гг. право новых элементов на существование пришлось поставить под сомнение. К этому времени менделеевская таблица была уже практически заполнена. Для небулия и корония в ней просто не осталось места! Значит, это были не новые элементы, а уже известные, но, так сказать, в «карнавальных масках»: в необычных условиях межзвёздного газа и солнечной короны они излучали совсем не те линии, что в земных лабораториях. И действительно, в конце концов выяснилось, что небулий — это «замаскированный» кислород, а короний — железо.



В раскалённом разреженном газе время от времени происходят столкновения атомов друг с другом и со свободными электронами. Иногда при этих столкновениях атом получает столько энергии, сколько её необходимо для перехода электрона на одну из внешних орбит. Такое состояние атома называется возбуждённым. В возбуждённом состоянии атом пребывает и тогда, когда протон «захватывает» первоначально не связанный с ним электрон, который оказывается на далёкой от протона орбите.

Характерной чертой возбуждённых состояний является их непродолжительность. Электрон стремится возвратиться на самую низкую орбиту. Но как атому избавиться от «лишней» энергии? Он освобождается от неё, излучая квант света, причём со строго определённой энергией, соответствующей расстоянию между орбитами. Электрон способен вернуться на основную орбиту сразу, испустив квант с большой энергией, а может по дороге останавливаться на промежуточных орбитах, если излучается набор квантов с меньшими энергиями. Но в любом случае излучение будет наблюдаться лишь на тех длинах волн, которые допускаются расположением орбит, или энергетических уровней, атома. Поэтому спектры излучения газов состоят из линий строго определённых цветов.

Иначе обстоит дело в относительно холодном плотном газе, освещённом мощным источником непрерывного излучения, например в атмосферах Солнца и звёзд. Здесь картина прямо противоположная. Кванты непрерывного спектра могут выбить электрон с одного уровня на другой, более высокий. Сам квант при этом исчезает, а избыток энергии атома снимается при его столкновении с другими атомами. Электрон падает обратно на низкую орбиту, а его энергия превращается в

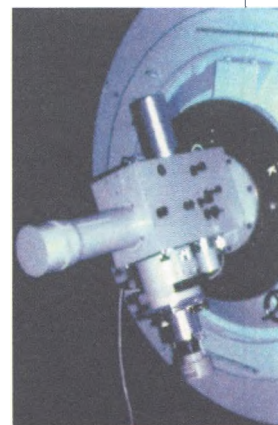
энергию теплового движения столкнувшихся частиц. В этом процессе участвуют только те кванты, энергия (длина волны) которых строго соответствует одному из возможных переходов электрона в атоме. Все остальные кванты проникают через вещество почти беспрепятственно. Таким образом, из непрерывного излучения поглощаются лучи строго определённых цветов, и в спектре звезды появляются узкие провалы, отмечающие их отсутствие, — спектральные *линии поглощения*.

На основе новых идей физики сумели объяснить происхождение линейчатых спектров, сплошных спектров, «горбчатых» кривых распределения энергии в спектрах нагретых тел и многое другое. Разработанные ими методы позволили астрономам узнать количественный состав звёздных атмосфер, их температуру и даже величину магнитных полей... Кроме того, квантовая механика способствовала созданию теории ядерных реакций в недрах звёзд, тем самым помогла выявить источники их энергии и проследить пути звёздной эволюции. Так что сотрудничество физиков и астрономов принесло прекрасные плоды, обогатившие как физику, так и астрономию.

ЗВЁЗДНЫЕ РАДУГИ

Чтобы подробно исследовать спектр звезды, надо получить его резкое изображение. Какими же приборами пользуются астрономы для получения звёздных спектров? Конечно, это спектроскоп, точнее, *спектрограф*, поскольку современный наблюдатель предпочитает сразу записывать спектр с помощью различных фотоэлектрических приборов. Спектры излучения ярких звёзд определяются индивидуально. Для получения спектров слабых источников применяют объективную призму — тонкую

Спектрограф, установленный на окулярном конце телескопа.





стеклянную призму, размещаемую перед объективом телескопа. Поэтому в фокальной плоскости телескопа одновременно возникают изображения спектров множества звёзд. Разумеется, такие звёздные радуги очень короткие, но для многих целей, в том числе для предварительной спектральной классификации звёзд, они вполне пригодны.

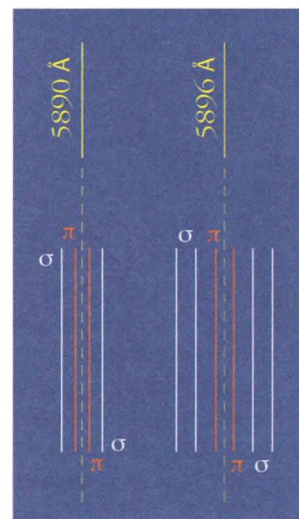
Зарегистрированные спектры небесных светил обязательно дополняются спектрами сравнения, полученными от источников, для которых положения спектральных линий точно известны. Сравнение спектров земных и небесных источников позволяет выявить даже небольшие изменения положений и формы спектральных линий. И подобно тому, как Шерлок Холмс при помощи лупы обнаруживал еле заметные следы, оставленные преступником, современный астроном из особенностей спектра звезды извлекает информацию о её свойствах. Недаром спектр иногда в шутку называют «паспортом звезды».

Основным источником информации являются спектральные линии. Поскольку своим происхождением они обязаны процессам испускания и поглощения излучения отдельными атомами, это позволяет установить значения многих параметров звёздных атмосфер и звёзд в целом. Так, например, смещение линий в спектре звезды относительно спектра сравнения говорит о том, что звезда приближается или удаляется от нас — в зависимости от того, в синюю или красную сторону спектра смещены линии (эффект Доплера). По величине этого смещения можно узнать скорость звезды. Если линии спектра периодически смещаются то в одну, то в другую сторону, значит, звезда попеременно движется то к нам, то от нас, т. е. имеет спутник, вместе с которым обращается вокруг общего центра масс. Звёзды

в таких парах расположены очень близко друг к другу, и в телескоп нельзя определить, что на самом деле это двойная система. Установить наличие спутника можно только по спектру. Так удалось открыть даже тела планетной массы вблизи некоторых звёзд.

Когда вещества находятся в магнитном поле, его спектральные линии расщепляются. Это явление, открытое в 1896 г. нидерландским физиком Питером Зееманом, называется *эффектом Зеемана*. Измерение параметров расщепления позволяет исследовать магнитное поле звезды. С помощью эффекта Зеемана можно, например, измерять величину магнитного поля в солнечных пятнах.

О параметрах звёздной атмосферы и вращении звезды рассказывают форма и ширина спектральных линий. По ним определяют температуру, ускорение силы тяжести и давление газа в атмосфере звезды, а также её химический состав. Признаки двойственности звезды или ещё большей её кратности выявляют



Эффект Зеемана. Расщепление спектральных линий в магнитном поле. σ и π — различно поляризованные компоненты спектральных линий.



по раздвоению или периодическому смещению линий.

Широкие спектральные линии свидетельствуют о высокой плотности атмосферы, в которой эти линии образуются. Такая атмосфера характерна для звёзд небольшого радиуса и, следовательно, невысокой светимости. Это звёзды-карлики. Примером такой звезды служит Солнце. Напротив, узкие линии являются характерным признаком звёзд-гигантов, с радиусами во много раз больше солнечного, а потому имеющих огромную светимость. Среди них — Бетельгейзе — красный сверхгигант; Ригель — голубой сверхгигант.

Яркие линии в спектре доказывают, что звезда окружена расши-

ряющейся оболочкой из горячего газа. Эта звезда (как правило, очень высокой светимости) быстро теряет массу и не может долго пребывать в таком состоянии.

У красных звёзд с низкой температурой поверхности в спектрах видны широкие полосы. Это «отпечатки пальцев» уже не атомов, а молекул: оксида титана, оксида ванадия, оксида циркония. А ещё в атмосферах холодных красных звёзд найдены молекулы углерода и ядовитый циан...

Столь поразительное богатство материала наблюдений, объём которого возрастает с каждым годом, обеспечивает работой астрономов на много десятилетий вперёд.

ИНФРАКРАСНАЯ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ ВСЕЛЕННАЯ

ОТКРЫТИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В 1800 г. Уильям Гершель проделал эксперимент, который открыл «эру невидимого» в астрономии. Учёный решил проверить, одинаково ли греют лучи разных частей спектра. Пропустив пучок солнечного света через призму, он разложил вдоль радужной полоски термометры так, чтобы они освещались лучами разных цветов. А один термометр он поместил за границей цветной полоски, рядом с красным краем спектра. Оказалось, что термометр, на который не попадало никаких видимых лучей, тоже нагревался! Значит, заключил Гершель, помимо видимого излучения есть ещё невидимое; он назвал его инфракрасным.

Сегодня известно, что инфракрасное излучение занимает обширный

участок спектра электромагнитных волн между радиоволнами и красным светом: от 1 мм (1000 мкм) до 0,8 мкм. Впрочем, земная атмосфера для большей части инфракрасных лучей непрозрачна: она пропускает лишь излучение в диапазоне 0,75—5 мкм. Главными поглотителями инфракрасного излучения служат водяной пар и углекислый газ. Последний — основной виновник нагрева атмосферы вследствие так называемого парникового эффекта.

КАК ПОЙМАТЬ НЕВИДИМКУ?

В XIX в. для обнаружения инфракрасного излучения астрономы пользовались термопарами — двумя соединёнными проволочками из разных металлов. Если место их соединения нагревают ИК-лучи, то на концах проволочек возникнет



электродвижущая сила. Измеряя её, можно узнать интенсивность ИК-лучей, попавших на термопару, а по ней — и температуру небесного тела. Именно так в прошлом веке определили температуру поверхности Луны, а затем и планет.

Следующим шагом стало создание болометра. Главным элементом этого прибора является зачернённая полоска фольги специального состава, поглощающая ИК-лучи. Электрическое сопротивление фольги меняется при повышении температуры. Измерив это изменение, также можно установить интенсивность падающего на неё инфракрасного излучения. В настоящее время в качестве детекторов с успехом применяют полупроводниковые кристаллы.

И всё же чувствительность этих приборов остаётся невысокой, а трудности измерений очень велики. Ведь в инфракрасном диапазоне излучают не только звёзды и планеты, но и все предметы вообще, в том числе детали аппаратуры, «забывая» слабый сигнал от небесных тел. Чтобы ослабить эти помехи, аппаратуру охлаждают; сначала это делали «сухим льдом» (твёрдой углекислотой), позднее — жидким азотом и, наконец, жидким гелием. Для уменьшения собственного излучения начали охлаждать и сами детекторы. Только после этого чувствительность аппаратуры стала удовлетворять требованиям астрономов.

В качестве собирающих устройств в инфракрасных телескопах используются обычные вогнутые зеркала, как и при оптических наблюдениях. Однако требования к точности обработки отражающей поверхности здесь значительно ниже, поэтому изготовление рефлекторов с диаметрами зеркал 2—4 м особых технических сложностей не представляет.

Наблюдения в ИК-лучах можно выполнять при помощи наземных телескопов, установленных высоко в

горах, со стратостатов и даже с высотных самолётов. С развитием космической техники наступила очередь телескопов, размещаемых на спутниках. Большое значение имел вывод на околоземную орбиту в 1983 г. американо-англо-голландского инфракрасного телескопа IRAS, в котором использовалось охлаждение приёмной аппаратуры жидким гелием. Телескоп проработал на орбите год, пока не испарился весь 300-литровый запас гелия. В 2003—2009 гг. (также до исчерпания запасов жидкого гелия) ИК-наблюдения на орбите проводил космический телескоп «Спитцер» (НАСА). В 2009 г. в окрестности точки либрации Солнце — Земля, находящейся за пределами лунной орбиты, запущен космический ИК-телескоп «Гершель» (НАСА — ЕКА) диаметром 3,5 м, приборы которого работают в далёком ИК- и субмиллиметровом диапазонах спектра.

ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПЛАНЕТ

Первыми объектами инфракрасных наблюдений на современной аппаратуре стали планеты Солнечной системы. Начало полётов в космос оживило интерес к проблеме жизни вне Земли. Астрономы принялись настойчиво измерять температуры поверхностей планет и их атмосфер, пытаясь найти благоприятные для жизни условия (разумеется, по земным меркам). Оценки температуры не вселяли особых надежд: 500 °C на Меркурии; –140 °C на Юпитере; –160 °C на Сатурне. Зато наделало много шума обнаружение американским астрономом Уильямом Синтоном в инфракрасном спектре Марса двух полос, характерных для углеводородов — простейших органических соединений. Казалось, вопрос о жизни на Марсе близок к решению... Однако проверка показала, что открытые



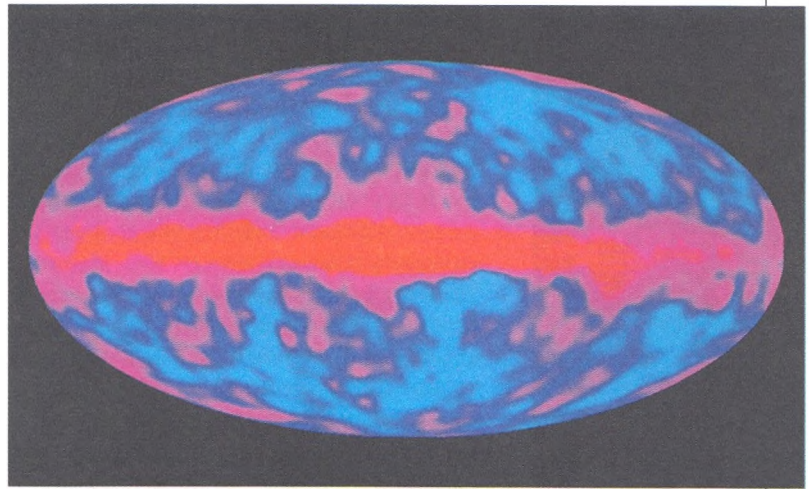
Синтоном полосы имеют не марсианское, а земное происхождение и, скорее всего, принадлежат парам тяжёлой воды в атмосфере Земли.

Инфракрасные наблюдения планет-гигантов позволили уточнить структуру их атмосфер, обнаружить водяной лёд на их спутниках. Было открыто собственное излучение Юпитера и Сатурна, связанное не только с нагревом солнечными лучами, но и с внутренними источниками тепла у этих планет.

НОВАЯ КАРТА НЕБА

После создания инфракрасных телескопов с 3—4-метровыми объективами астрономы развернули работу по составлению карт неба в инфракрасных лучах. Проводя регулярные обзоры неба, они определяли координаты инфракрасных источников и оценивали энергию приходящего от них излучения. В итоге человек впервые сумел взглянуть на небо в невидимых «тепловых» лучах. Результаты оказались впечатляющими.

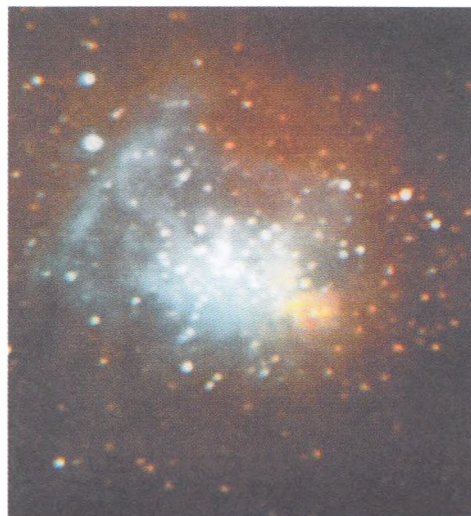
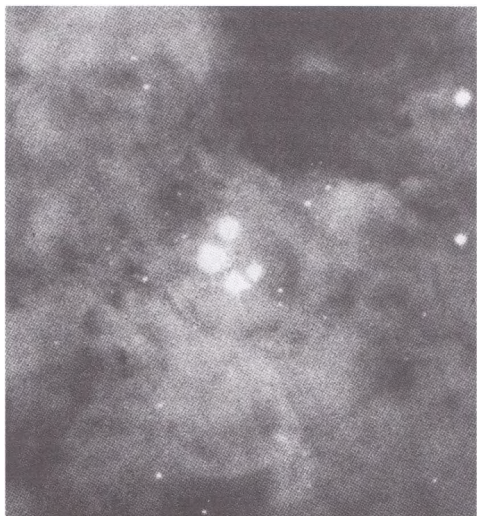
На инфракрасном небе пропали яркие голубые и белые звёзды. Исчезли с небосвода созвездия Большой Медведицы, Ориона, Кассиопеи, не



Небо в инфракрасных лучах. Горизонтальная линия соответствует средней плоскости Млечного Пути. Вне Млечного Пути расположены в основном внегалактические инфракрасные источники.

стало Сириуса, Прокциона, Ригеля. Яркие красные звёзды — Бетельгейзе, Антарес, Альдебаран — мало изменились в блеске. Но появились и другие звёзды, которых раньше не было видно на небосводе: тусклые тёмно-красные источники, похожие на тлеющие угольки.

Многие из них — даже ещё не звёзды, а протозвёзды, т. е. сгущения межзвёздной среды, сжимающиеся



Трапеция Ориона в обычных (слева) и в инфракрасных лучах. На правой фотографии хорошо заметно молекулярное облако — область звездообразования.



Формирующаяся звезда Барнард 5 (отмечена стрелкой). Съемка инфракрасного орбитального телескопа IRAS.

под действием собственного тяготения. Это холодные газовые шары, окруженные газово-пылевыми оболочками. В некоторых из них только начинаются ядерные реакции, характерные для «настоящих» звезд. Не исключено, что одновременно с образованием звезд идет и формирование планетных систем. Именно такие удивительные объекты обнаружены в созвездиях Телец, Лебедь и Орион, в том числе в знаменитой туманности Ориона.

Источником сильного инфракрасного излучения может стать и горячая звезда, если она окружена облаком пыли или пылевым диском. Пыль поглощает коротковолновое и видимое излучение и переизлучает его энергию в инфракрасных лучах. Примером может служить Вега, окруженная диском, от которого исходит мощное ИК-излучение.

Орбитальные телескопы IRAS и «Спитцер» исследовали излучение центральной области Млечного Пути в длинноволновой части инфракрасного диапазона. То, что центр нашей Галактики испускает ИК-лучи, было известно давно. Еще в 1951 г. советские астрономы первыми получили снимки галактического центра в сравнительно коротковолновых ИК-

лучах. В качестве приемника излучения они использовали техническую новинку того времени — электронно-лучевую трубку, фотокатод которой чувствителен к инфракрасным лучам. В результате было обнаружено излучение звезд ядра, видимый свет которых очень сильно поглощается межзвездной пылью.

Аппаратура, установленная на IRAS, принимала излучение на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм. В этих лучах светят уже не сами звезды, а пыль вблизи звезд или между ними. IRAS зарегистрировал очень много источников: инфракрасные объекты в ядре Галактики, излучение узкой полосы вдоль Млечного Пути, где концентрируются межзвездный газ и пыль, и большое количество звезд с пылевыми оболочками.

Более 10 тыс. источников удалось отождествить с внегалактическими объектами: галактиками (преимущественно спиральными) и квазарами — очень далекими и мощными точечными источниками. Во многих случаях излучение галактик в инфракрасном диапазоне сравнимо по мощности с наблюдаемым оптическим излучением или даже превосходит его. В основном это излучение связано с молодыми горячими звездами, которые рождаются в непрозрачных (для видимых и ультрафиолетовых лучей) областях галактик и нагревают окружающую их пылевую среду до нескольких десятков кельвинов, из-за чего она начинает светиться в инфракрасном диапазоне. По мощности этого излучения астрономы количественно оценивают темпы образования звезд в галактиках.

В некоторых случаях мощность инфракрасного излучения ядер галактик и квазаров оказалась невероятной высокой — сотни миллиардов светимостей Солнца. Механизм образования таких источников еще ждет своего объяснения.



Инфракрасное изображение туманности, окружающей звездное скопление Плеяды.



УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Тот, кто хотя бы раз поднимался в горы, знает, что Солнце там гораздо жарче, чем на равнине: оно очень быстро обжигает кожу. В то же время люди, живущие в горах, реже страдают насморком, ангиной и другими простудными заболеваниями. Неужели солнечный свет там чем-то отличается от равнинного? Да, в нём больше *ультрафиолетовых* (УФ) лучей, у которых длины волн короче, чем у видимого света. Ультрафиолетовая часть спектра охватывает участок с длинами волн от 0,3 до 0,01 мкм. Загар вызывается мягкими ультрафиолетовыми лучами со сравнительно большой длиной волны. Коротковолновые, или жёсткие, ультрафиолетовые лучи, к счастью, не проходят через земную атмосферу.

В газовой среде, например в межзвёздном пространстве, жёсткие, энергичные ультрафиолетовые кванты ионизуют атомы различных элементов. При этом энергия кванта передаётся одному из электронов, и он отрывается от родного атома, отправляясь в «свободное плавание». Нейтральный атом, потеряв электрон, приобретает электрический заряд и превращается в положительный ион. «Сбежавший» электрон может вновь присоединиться к какому-нибудь ионизованному атому, тогда последний опять становится нейтральным.

Газ, образованный не нейтральными атомами, а положительно и отрицательно заряженными частицами (как правило, положительными ионами и электронами), называется плазмой. Плазма проводит электрический ток, и на её движение очень сильно влияет магнитное поле. Учёные установили, что Вселенная в основном состоит из плазмы. Лишь планеты, межпланетная и межзвёзд-

ная пыль да газ в холодных уголках Вселенной, куда не проникает коротковолновое ионизирующее излучение, содержат вещество в иных состояниях.

Газовые облака, ионизуемые ультрафиолетовым светом горячих звёзд, сами становятся мощными источниками излучения. Их именуют светлыми газовыми туманностями или областями ионизованного водорода. Там, где они наблюдаются, можно ожидать присутствия молодых горячих звёзд, которые из-за своей высокой температуры излучают большую часть энергии в ультрафиолетовой области спектра.

Итак, на ультрафиолетовое излучение природа возложила важную миссию — быть «главным ионизатором» рассеянного (т. е. не заключённого в звёзды) вещества.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА

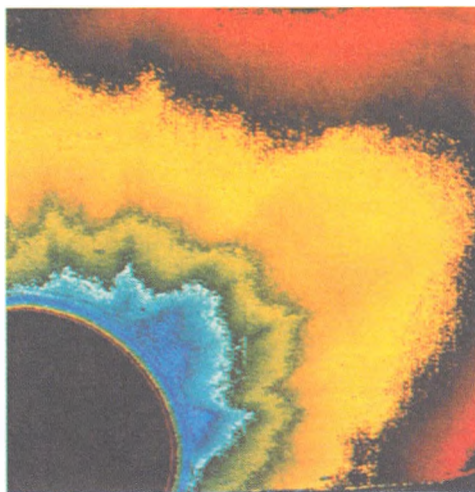
В излучении Солнца должно быть довольно много УФ-лучей, значительно больше, чем это наблюдается с поверхности Земли, поскольку их поглощает земная атмосфера. Запуски беспилотных шаров-зондов, поднимавших на высоту 30 и более километров измерительные приборы и радиопередатчики, показали, что выше 25—28 км температура воздуха растёт, достигая максимума на уровне 30—35 км. Ещё выше температура снова падает, а интенсивность УФ-лучей увеличивается. Учёные сделали вывод, что на высоте 30—35 км происходит интенсивное поглощение солнечного ультрафиолетового излучения с образованием озона — вещества, молекула которого состоит из трёх (а не двух, как обычно) атомов кислорода. Озон очень сильно поглощает лучи с длинами волн короче 0,3 мкм, спасая нас от их опасного воздействия на кожу и



органы зрения. Вот почему тревогу вызывает существование озоновых дыр — через эти разрывы в озоновом слое солнечные УФ-лучи достигают земной поверхности. Одной из причин разрушения озонового «щита» служат выбросы в атмосферу фторуглеродных соединений, широко используемых в холодильниках.

Но не только на образование озона расходуется энергия солнечных УФ-лучей.

Радиоволны, как и все электромагнитные волны, должны распространяться прямолинейно. Значит, поскольку Земля — шар, радиосвязь между Европой и Америкой невозможна? Итальянский радиотехник Гульельмо Маркони осуществил в 1901 г. прямую радиосвязь между Англией и США, раз и навсегда доказав, что радиоволны могут огибать земной шар. Для этого им надо отразиться от какого-то «зеркала», висящего над земной поверхностью на высоте 150—300 км. Таким «зеркалом» служат ионизированные слои атмосферы, а источником ионизации — ультрафиолетовое излучение Солнца. Словом, УФ-лучи властно вторгаются в земные дела.



Солнечная корона
в ультрафиолетовых лучах.

Теперь оставалось немного: непосредственно измерить интенсивность УФ-излучения Солнца. Создание баллистических ракет позволило исследователям вынести аппаратуру за пределы земной атмосферы, на высоту более 100 км. И первые же запуски увенчались успехом: УФ-излучение Солнца было обнаружено и измерено. Излучение с длинами волн короче 0,15 мкм связано уже не с видимой поверхностью Солнца, а с более высокими и горячими атмосферными слоями. Спектр этого излучения содержит яркие эмиссионные линии (линии испускания), самая сильная из которых (0,12 мкм) принадлежит нейтральному водороду.

С развитием спутниковой астрономии исследование ультрафиолетового излучения Солнца стало её обязательным компонентом. Причина ясна: УФ-излучение контролирует состояние ионизированных слоев атмосферы, а следовательно, и условия радиосвязи на Земле, особенно в полярных районах. Эта не слишком приятная зависимость от капризов Солнца стала ослабевать лишь в последние десятилетия, с развитием спутниковой связи.

КОСМИЧЕСКОЕ «ОРУЖИЕ БЛИЖНЕГО БОЯ»

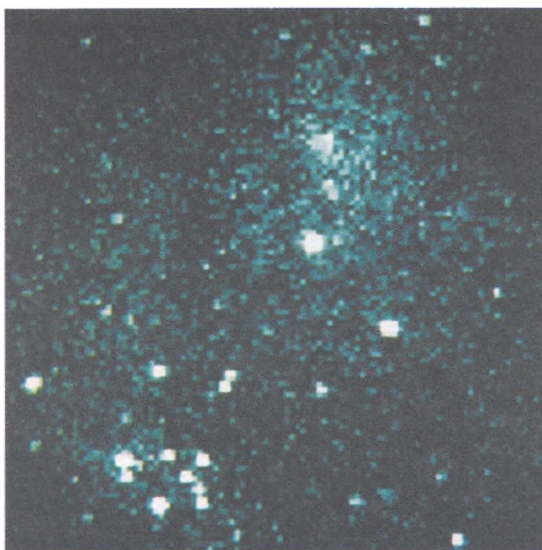
Исследование ультрафиолетового излучения небесных объектов началось довольно давно — с появлением астрофотографии. Ведь фотоэмульсии чувствительны не только к видимому свету, но и к УФ-излучению. Однако для изучения жёсткого, коротковолнового, излучения небесных тел понадобилось вынести приборы за пределы атмосферы. Здесь трудно было ожидать больших сюрпризов. Жёсткое УФ-излучение — это «оружие ближнего боя», оно не может рас-



пространяться в межзвёздной среде на большие расстояния. Его высокая ионизирующая способность приводит к быстрой потере энергии и поглощению космических УФ-квантов газом, который для длинноволнового излучения совершенно прозрачен.

Основным межзвёздным поглотителем служит водород. Он ионизируется УФ-излучением с длинами волн менее $912 \text{ \AA}$ ($0,0912 \text{ мкм}$). Но его энергия может перейти к более длинноволновым квантам и «высветиться» в эмиссионных линиях, которые испытывают значительно меньшее поглощение и наблюдаются с больших расстояний. Нагретый УФ-квантами газ излучает не только свет, но и радиоволны, поэтому наблюдения межзвёздных облаков ионизованного водорода проводятся и в оптическом, и в радиодиапазоне. Они позволяют узнать, где находятся далёкие источники жёстких ультрафиолетовых лучей и измерить их мощность.

Источники мощного УФ-излучения не так часто встречаются в космосе. В основном это очень горячие звёзды большой светимости с температурой поверхности выше $20\text{--}25$ тыс. К. По цвету такие звёзды кажутся голубыми или бело-голубыми; типичным примером служит Ригель в созвездии Ориона. Большинство подобных звёзд сосредоточены в галактической плоскости, в спиральных ветвях. Их свет сильно ослабляется из-за поглощения газом и пылью, которые тоже сосредоточены в галактической плоскости. Но интерес к ним астрономов велик, поскольку эти звёзды молоды: их возраст исчисляется лишь миллионами лет, тогда как Солнце существует не менее 5 млрд лет. Наблюдения молодых звёзд помогают лучше понять процессы, приводящие к их образованию, и проследить пути звёздной эволюции.



Ультрафиолетовое изображение части туманности Лагуна, содержащей большое количество молодых горячих звёзд.

Впрочем, совсем без неожиданностей не обошлось. Старые звёзды в ядрах галактик — и нашей Галактики, и Андромеды, и далёких эллиптических звёздных систем — излучают гораздо больше ультрафиолетовых лучей, чем ожидалось. По-видимому, дело в том, что среди старых звёзд также встречаются горячие объекты, излучающие в ультрафиолетовом диапазоне. Это звёзды с очень низким содержанием металлов и белые карлики, уже прошедшие в своём развитии стадию красных гигантов. Измерение УФ-излучения звёздных систем даёт ключ к выяснению их звёздного состава.

Но, пожалуй, наиболее высокую ультрафиолетовую светимость, причём, как правило, быстропеременную, имеют активные ядра галактик и квазары. Причём это излучение исходит не только от горячих звёзд. Там имеются незвёздные, или, как говорят, нетепловые, источники очень большой мощности. Изучение их природы — одна из актуальных задач астрономии.



РЕНТГЕНОВСКАЯ И ГАММА-АСТРОНОМИЯ

ЛУЧИ, НЕ ЗНАЮЩИЕ ПРЕГРАД

В конце XIX в. немецкий физик Вильгельм Рентген открыл невидимые лучи, названные в его честь рентгеновскими. Новые лучи привлекли всеобщее внимание своей проникающей способностью: они свободно проходили через слои бумаги, картона, дерева и даже тонкие листы металла (однако не всякого: свинец, например, оказался для них труднопреодолимым). Учёные установили, что рентгеновские лучи — это электромагнитные колебания с очень малой длиной волны и большой энергией квантов — от 1000 до десятков тысяч электронвольт.

Лучи Рентгена скоро стали использовать в медицине — для наблюдения внутренних органов; в материаловедении — для выявления скрытых дефектов изделий. Большую роль сыграло их применение в исследовании кристаллов. Дело в том, что межатомные расстояния в кристаллах близки к длинам волн рентгеновских лучей, поэтому отражение и дифракция этих лучей в кристаллах позволяют определить расположение атомов в пространстве. Так были разработаны методы исследования атомной структуры вещества.

Казалось, что для астрономии открытие Рентгена не имеет никакого значения. Заметный поток рентгеновских лучей от небесных светил возможен лишь в том случае, если температура их поверхности близка к миллиону градусов. А такой температуры на поверхности обычных звёзд быть не может. Никто не предполагал, что прямо над нашими головами каждый день появляется источник внеземного рентгеновского излучения. Речь идёт, конечно, о Солнце.

РОЖДЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ АСТРОНОМИИ

Долгое отсутствие каких-либо данных о рентгеновском излучении Солнца объясняется экранирующим действием земной атмосферы, которая поглощает практически всё коротковолновое излучение, идущее из космоса.

Правда, в 1930-х гг. возникло подозрение, что в нарушении дальней радиосвязи в дневное время повинно рентгеновское излучение: предполагали, что, приходя из космоса, оно создаёт в земной атмосфере дополнительный ионизированный слой на высоте около 80 км (его называли слоем D). Но для доказательства этой гипотезы требовалось поднять приборы выше стратосферы. Это стало возможно только в послевоенные годы.

В конце 1940-х гг. детекторы рентгеновских лучей на баллистических ракетах были подняты на высоту более 100 км. С их помощью удалось зарегистрировать рентгеновское излучение, испускаемое при солнечной вспышке. Этот своеобразный «магнитный взрыв» на Солнце сопровождается выбросом частиц высокой энергии — солнечных космических лучей, а также мощным импульсом рентгеновского излучения. Кроме того, приборы зафиксировали и диффузное (размытое) излучение неба в рентгеновских лучах.

В 1960-х гг. были обнаружены два других рентгеновских источника. Один оказался связанным с Крабовидной туманностью — газовым остатком сверхновой звезды, а второй — со странной звездой в созвездии Скорпиона (она получила обозначение Скорпион X-1). В 1970-х гг. регулярные наблюдения со спе-



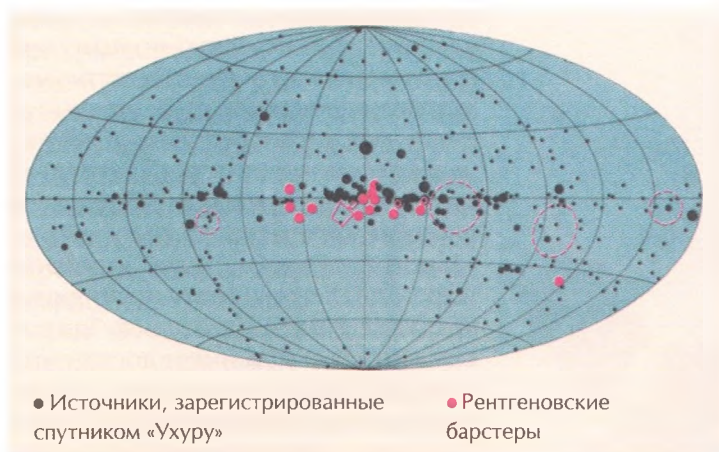
циальных искусственных спутников — рентгеновских обсерваторий «Ухуру» и «Эйнштейн» — обогатили рентгеновскую картину неба новыми деталями.

Для регистрации космических рентгеновских лучей физики предоставили астрономам большой набор приёмных устройств. Сначала применялась фотоплёнка, похожая на ту, что используется в рентгеновских кабинетах. Потом появились счётчики Гейгера; затем газовые, так называемые пропорциональные счётчики и, наконец, специальные полупроводниковые устройства, способные не только улавливать рентгеновские кванты, но и определять их энергию. Долгое время основным недостатком рентгеновских приёмников излучения была низкая угловая разрешающая способность, однако впоследствии использование на рентгеновских обсерваториях специальных металлических зеркал обеспечило разрешение не менее 1" (телескоп «Чандра», НАСА).

РЕНТГЕНОВСКОЕ НЕБО

Каталоги, составленные на основе спутниковых наблюдений, включают тысячи космических источников рентгеновского излучения. Сотни из них отождествлены с оптическими объектами.

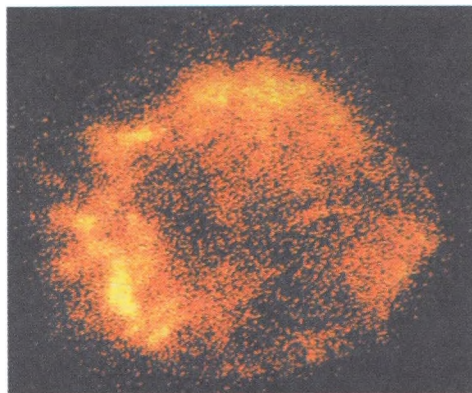
Среди рентгеновских источников немало галактических объектов: остатки сверхновых звёзд (в частности, Крабовидная туманность и находящийся в ней пульсар), тесные двойные системы, центральная область (ядро) Галактики. Но многие источники лежат за пределами нашей звёздной системы: это другие галактики, как обычные (Туманность Андромеды), так и необычные (галактика Дева А из скопления галактик в созвездии Дева). Мощными источниками рентгеновского излучения оказались яд-



Небо в рентгеновских лучах. Горизонтальная ось — галактический экватор.

ра галактик с признаками высокой активности и квазары, как правило, быстро меняющие свою рентгеновскую светимость. В крупных скоплениях галактик в рентгеновских лучах наблюдается также разреженный горячий газ, заполняющий межгалактическое пространство.

Особенно интересна природа рентгеновских источников, связанных с тесными двойными системами (так называется объединённая взаимным тяготением пара очень близких друг к другу звёзд), в которых один компонент — очень компактный объект (нейтронная звезда или чёрная дыра), а второй — обычная звезда (главной последовательности, гигант



Рентгеновское изображение объекта Кассиопея А, остатка сверхновой звезды.



или сверхгигант). Расстояние между членами пары невелико, поэтому при определённых условиях вещество может активно перетекать со звезды-гиганта на компактную звезду. Оно выпадает на поверхность нейтронной звезды в области магнитных полюсов либо «наматывается» в её экваториальной плоскости, подобно магнитофонной ленте на катушку, образуя вокруг звезды газовый диск. Так как компактная звезда имеет достаточно большую массу (порядка массы Солнца) и малые размеры (20—25 км в диаметре), падающее вещество приобретает огромную скорость — до нескольких десятков тысяч километров в секунду, сильно уплотняется и разогревается до температуры выше миллиона градусов. Двойная звезда превращается в мощный источник рентгеновских лучей!

Если газ падает в область магнитных полюсов нейтронной звезды, то её быстрое вращение делает принимаемое рентгеновское излучение переменным. Такие источники называются *рентгеновскими пульсарами*. Их известно несколько десятков.

Неспокойным, наполненным бурными событиями, катастрофами и взрывами невиданных масштабов предстаёт перед нами космос в рент-

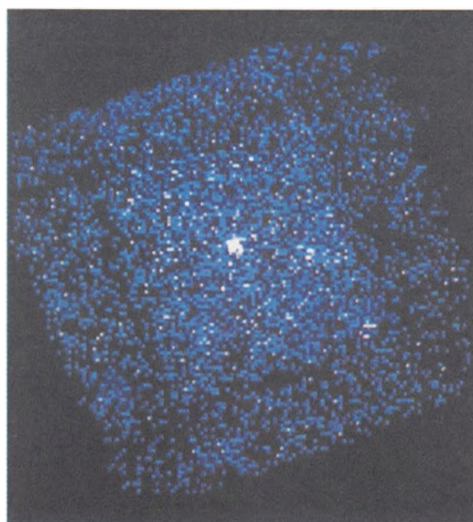
геновских лучах. Как он не похож на тихий, спокойный, почти неизменный мир в видимом свете с безмолвным мерцанием тысяч звёзд!

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ

Во всех курсах физики — от школьного до университетского — описывается такой эксперимент: свинцовая коробочка с маленьким отверстием сверху, наполненная солью радия, ставится под фотопластинку. На проявленной пластинке обнаруживается пятно — признак того, что радий испускает какие-то лучи. Именно так в 1896 г. французский учёный Антуан Анри Беккерель открыл явление радиоактивности. Если же поместить коробочку с радием между полюсами сильного магнита, на фотопластинке появятся три пятна: одно — точно над отверстием, второе будет немного смещено в сторону, а третье — тоже смещено, но гораздо больше и в противоположную сторону. Очевидно, радиоактивное вещество испускает частицы трёх видов: заряженные положительно (отклоняются слабо), заряженные отрицательно (отклоняются сильно) и лишённые электрического заряда (вообще не отклоняются). Они получили соответственно названия *альфа*-, *бета*- и *гамма*-лучей. Вскоре выяснилось, что альфа-лучи — это поток ядер гелия, бета-лучи — поток электронов, а гамма-лучи — родственники света, электромагнитные волны, более короткие, чем рентгеновские, с длинами волн в сотысячные доли микрометра и даже меньше.

В то время как лучи видимого света порождаются атомами, гамма-лучи в основном испускаются атомными ядрами. Атом способен перейти в возбуждённое состояние, поглотив порцию (квант) энергии; вслед за тем, возвращаясь в основное состояние, он испускает свет, образующий

Рентгеновское изображение квазара.





те самые линии, которые мы видим в спектроскопе. Точно так же возбуждённое, т. е. поглотившее энергию, ядро способно излучать её, но уже в виде гамма-лучей.

В полном соответствии с законами квантовой механики гамма-лучи из-за очень малой длины волны, а следовательно, высокой энергии квантов гораздо больше похожи по поведению на поток частиц, чем на волны. Поэтому, как правило, их характеризуют не длиной волны, а энергией квантов: вместо «излучение с длиной волны 10^{-6} мкм» предпочитают говорить «гамма-квант с энергией 1,2 МэВ».

Гамма-лучи испускаются не только возбуждённым атомным ядром. Они могут возникать при столкновении высокоэнергичных заряженных частиц с фотонами в процессе так называемого *комптоновского рассеяния* — обмена энергией между обычным излучением и высокоэнергичными электронами. Гамма-лучи возникают и при пролёте быстрого электрона в электрическом поле протона или атомного ядра (такое излучение называют «тормозным»). Их источником является также процесс *аннигиляции* — превращения пары частица — античастица в гамма-кванты. Рождаются они и при распаде некоторых нестабильных частиц (например, π^0 -мезонов).

Физики создали приборы, позволяющие обнаружить гамма-кванты, определить их направление и энергию. Но какое это имеет отношение к астрономии? Самое непосредственное.

В недрах звёзд протекают многочисленные ядерные реакции; в пространстве между звёздами с около-световыми скоростями проносятся частицы космических лучей; в космосе происходит аннигиляция частиц и античастиц. Значит, должны существовать космические гамма-лучи.

Уловить их на поверхности Земли невозможно — мешает атмосфера,

мощная броня, которой природа прикрыла нас от космоса. Учёные подсчитали, что для того, чтобы пролететь через земную атмосферу, частицы космических лучей или кванты высокой энергии должны преодолеть такой же по массе слой вещества, какой они прошли по пути через Вселенную за несколько миллиардов световых лет!

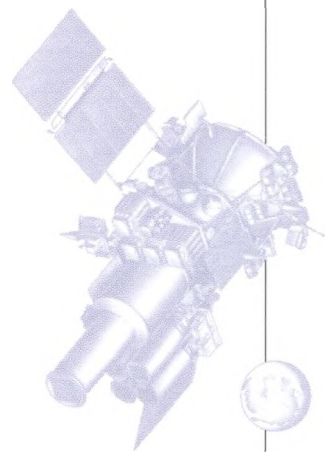
Вот почему гамма-астрономия родилась лишь после того, как детекторы гамма-лучей были подняты сначала на баллонах и ракетах, а затем на космических аппаратах.

Но всё-таки существует и наземный метод обнаружения космических гамма-квантов: можно регистрировать слабый поток световых фотонов, который создают в атмосфере быстрые электроны, возникающие при взаимодействии энергичных гамма-квантов с атомами воздушной среды. Такой метод позволяет улавливать гамма-кванты особенно высоких энергий, более 10^{12} эВ.

КВАНТЫ-ОДИНОЧКИ

Отдельные гамма-кванты регистрируют специальные приборы. Один из них — *сцинтилляционный счётчик*. Это кристалл из особого вещества (например, йодистого натрия или сверхчистого германия); проходя через него, гамма-квант даёт вспышку света, которую фиксирует фотумножитель. Таким способом обнаруживают гамма-кванты с энергией до нескольких мегаэлектронвольт.

Более энергичные гамма-кванты улавливают с помощью так называемых *трековых детекторов*. Эти устройства регистрируют траектории движения быстрых заряженных частиц, например электронов, образующихся при взаимодействии гамма-кванта с веществом детектора. Камеры детектора заполнены газом; пролетающая заряженная частица





оставляет за собой след из ионизованных атомов, по которому её и обнаруживают.

Существуют и другие способы регистрации гамма-квантов, но все они не универсальны: каждый рассчитан на определённый диапазон энергии.

ГАММА-ФОН И ГАММА-ПУЛЬСАРЫ

Источником гамма-излучения служат частицы сверхвысокой энергии — будь то частицы очень горячего газа с температурой миллиарды градусов или заряженные частицы, разогнанные до невероятно больших скоростей в природных ускорителях.

Когда приборы для регистрации гамма-лучей были вынесены в космос, астрономы обнаружили то, что и ожидали, — фоновое гамма-излучение, «размазанное» по небу в полосе, охватывающей Млечный Путь. Это следствие уплотнённой структуры нашей Галактики. Гамма-излучение рождается в межзвёздной среде, которая в основном сосредоточена в плоской составляющей нашей звёздной системы — галактическом диске. Гамма-излучение здесь возникает при столкновении энергичных протонов космических лучей с атомами межзвёздного газа. Конечно, часть фо-

нового излучения относится к внегалактическим источникам, однако их доля невелика. Помимо «размазанного» фона чётко просматриваются яркие пятна — дискретные (отдельные) источники гамма-лучей. Обнаружено несколько десятков таких источников. Чаще всего они наблюдаются вблизи плоскости галактического экватора, и это прямо свидетельствует об их космической близости и принадлежности к нашей Галактике.

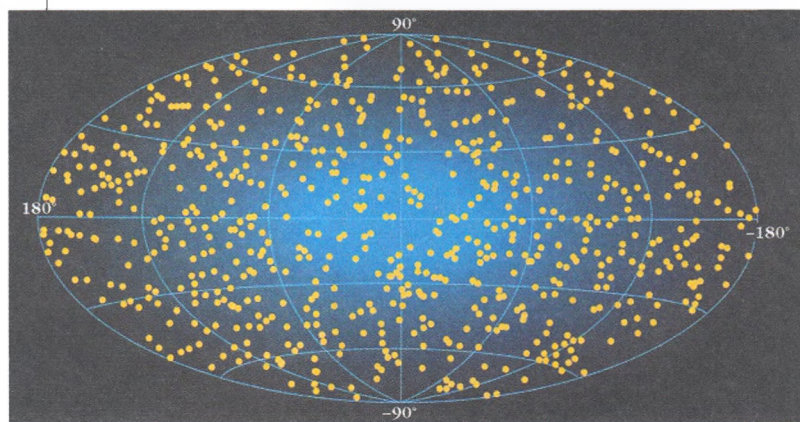
Разрешение современных гамма-телескопов невелико. Тем не менее целый ряд дискретных источников был отождествлён с известными космическими объектами. Часть из них оказалась связана с пульсарами. Это удалось установить на основании того, что периоды «миганий» пульсаров равны периодам колебаний интенсивности источников гамма-излучения. Например, гамма-источником является пульсар в Крабовидной туманности. Наряду с гамма-лучами он испускает радиоволны, инфракрасные лучи, видимый свет, ультрафиолетовое и рентгеновское излучение. И всё это с одним и тем же периодом «миганий»!

Другим объектом, излучающим гамма-импульсы, оказался пульсар в созвездии Паруса, наблюдавшийся ранее в более длинноволновом диапазоне. Это рентгеновский источник Паруса X, тоже остаток сверхновой, но более старый, чем в Крабовидной туманности.

Несколько гамма-источников отождествлены с тесными двойными системами, в которых газ перетекает с массивной звезды на компактный объект (например, Геркулес X-1, Лебедь X-3). Рождение гамма-квантов здесь связано со сложными физическими процессами ускорения частиц в сильном магнитном поле вблизи компактного объекта.

Самый близкий к нам источник гамма-лучей — Солнце. Гамма-излучение возникает при мощных солнечных вспышках. Из самых далё-

Распределение
гамма-всплесков
на небесной
сфере.





ких наблюдаемых гамма-источников можно отметить активные ядра галактик и квазары (например, галактика Маркарян 421, квазары 3С 273 и 3С 279).

Но многие гамма-источники пока не удалось отождествить ни с какими объектами. Дело в том, что определить точное положение гамма-источника на небе очень трудно. Гамма-телескопы имеют низкое угловое разрешение (несколько градусов), и только одновременное наблюдение быстро меняющего свою яркость гамма-источника двумя или несколькими удалёнными друг от друга аппаратами позволяет уточнить его координаты.

Наиболее загадочными оказались так называемые *гамма-всплески*, которые в среднем примерно раз в сутки на короткое время (от нескольких секунд до десятков минут) «загораются» в различных областях неба. Они были открыты в 1960-х гг. и до настоящего времени не получили исчерпывающего объяснения. Существует несколько различных предположений о том, как возникают эти гамма-всплески. Многие ис-

следователи связывают их природу с такими экзотическими объектами, как тесные двойные системы из нейтронных звёзд или чёрных дыр. Обращаясь вокруг общего центра масс, они постепенно сближаются и должны рано или поздно столкнуться друг с другом из-за неизбежных потерь энергии орбитального движения на излучение гравитационных волн. Выделяемая при таком столкновении энергия фантастически велика — около 10^{46} Дж. Это примерно в 100 раз больше, чем Солнце может излучить за всю свою жизнь! Такие объекты могли бы наблюдаться с расстояний в тысячи мегапарсек. Но пока это только гипотеза. Лишь недавно тайна природы гамма-всплесков начала приоткрываться (см. статью «Космические обсерватории»). Для окончательного выяснения их природы понадобятся наблюдения не только электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах, но также нейтринного излучения и гравитационных волн, которые должны сопровождать вспышку. И это дело уже недалёкого будущего.

РАДИОАСТРОНОМИЯ

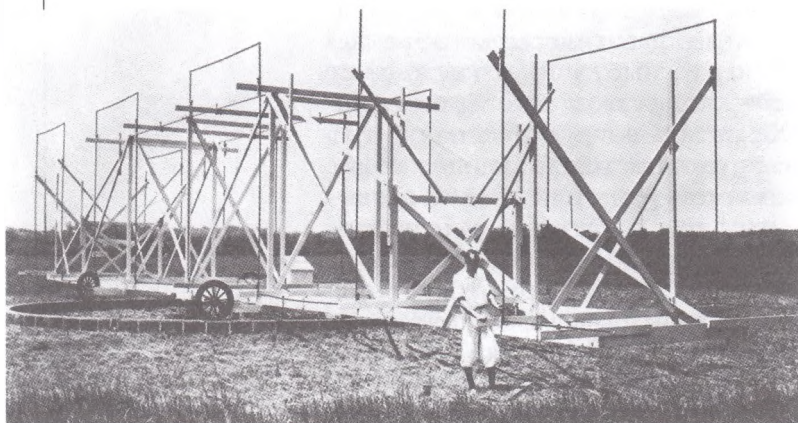
Многие объекты Вселенной, включая Солнце, планеты, туманности, галактики, а в особенности такие необычные объекты, как пульсары и квазары, излучают радиоволны, которые можно принимать с помощью современной техники. Измерением и анализом радиоизлучения космических источников занимается специальный раздел астрономии — радиоастрономия.

Радиоволны, как и видимый свет, представляют собой электромагнитные колебания, но длина волны у них значительно больше, чем у световых

волн. Радиоастрономы обычно работают в диапазоне длин волн от нескольких миллиметров до 15—20 м. Более длинноволновое, как и более коротковолновое, излучение не пропускает земная атмосфера, и для его приёма необходимо выносить аппаратуру в космос.

РОЖДЕНИЕ НОВОЙ НАУКИ

Впервые космическое радиоизлучение обнаружил в 1932 г. американский инженер Карл Янский. Он тогда



Карл Янский
рядом с
антенной,
с помощью
которой
он открыл
космическое
радиоизлучение.

исследовал радиопомехи, мешавшие работе трансатлантического беспроводного телефона. Для этих целей была построена большая однонаправленная антенна: специальная металлическая рама, закреплённая на поворотном устройстве — карусели. Размеры конструкции составляли 30,5 м в длину и 3,7 м в высоту. Антенну можно было сориентировать в нужном направлении и изучать приходящее радиоизлучение. Работа велась на волне 14,6 м.



Эллипсоидальный радиотелескоп «Марк-II» с размерами 25 × 36 м, входящий в систему MERLIN (Великобритания).

Кроме промышленных и грозовых радиопомех Янский обнаружил постоянное негромкое шипение, которое усиливалось и ослабевало с периодом 23 ч 56 мин. Это время равно звёздным суткам — периоду обращения Земли вокруг собственной оси. Янский установил, что «паразитное» радиоизлучение приходит из космоса — от Млечного Пути, причём наибольшая интенсивность его наблюдается в направлении центра нашей Галактики.

В 1939 г. другой американский радиоинженер, Гроут Ребер, построивший на собственные средства антенну с параболическим рефлектором диаметром 9,5 м, снова зарегистрировал радиоизлучение Млечного Пути на волне 1,87 м. В течение пяти лет Ребер проводил систематические измерения и в 1942 г. издал первую радиокарту всего северного неба.

РАДИОТЕЛЕСКОПЫ И ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ

Астрономы и инженеры поняли, что для измерения космического радиоизлучения нужны радиотелескопы гораздо большего размера, чем антенны Янского и Ребера. Радиотелескопы обычно представляют собой конструкции очень большого размера. Наиболее распространённый тип радиотелескопа — это сооружение, основным элементом которого служит сплошное металлическое зеркало параболической формы. Зеркало отражает падающие на него радиоволны так, что они собираются вблизи фокуса и улавливаются специальным устройством — облучателем. Затем сигнал усиливается и преобразуется в форму, удобную для регистрации и анализа. Хранение и обработка данных осуществляются с помощью компьютера. Чувствительность радиотелескопа тем выше, чем больше отражающая поверхность.



В отличие от земных радиостанций, работающих на фиксированной частоте, космические радиоисточники, как правило, излучают в широком диапазоне радиоволн. Поэтому и радиоастрономический приёмник должен иметь чувствительность по возможности в более широком диапазоне. Такой приёмник называется *радиометром*.

Расширению полосы приёма препятствуют в основном помехи от наземных радиостанций. Поэтому для радиоастрономии международными соглашениями выделены специальные интервалы длин волн, которые запрещается использовать любым наземным радиосредствам.

Крупнейший в мире 300-метровый радиотелескоп со сферическим зеркалом сооружён в 1963 г. в Аресибо, на острове Пуэрто-Рико. Он сконструирован, построен и эксплуатируется Национальным центром астрономических и ионосферных исследований США. Телескоп расположен в естественном котловане в горах. На высоте 150 м над поверхностью гигантского неподвижного зеркала укреплен на стальных тросах 600-тонная платформа, на которую можно подняться по полукилометровому подвесному мосту или по канатной дороге. Подвижная часть платформы поворачивается вокруг собственной оси. По рельсам вдоль платформы перемещается управляемая компьютером кабина с облучателями и приёмниками — так радиотелескоп наводится на исследуемый источник. Радиотелескоп в Аресибо отличается от многих других также тем, что он может служить и передающей антенной. В таком режиме выполнены уникальные эксперименты по радиолокации Солнца, Луны и планет Солнечной системы.

В 1972 г. в Германии построен 100-метровый полноповоротный радиотелескоп. Он сооружён в долине между невысоких гор в 50 км



от Бонна, вблизи небольшого городка Эффельсберг. Радиотелескоп имеет достаточно высокую точность поверхности, что позволяет использовать его даже на волне 4 мм. Угловое разрешение телескопа на такой короткой волне составляет около 10".

Самым большим и самым современным по оснащению полноповоротным радиотелескопом стал новый 100-метровый радиотелескоп GBT Национальной радиоастрономической обсерватории США в Грин-Бэнке. Поверхность этого радиотелескопа состоит из 2004 индивидуальных панелей, положение которых регули-

Гигантский радиотелескоп в горах округа Аресибо на острове Пуэрто-Рико.



Один из крупнейших в Европе радиотелескопов. Эффельсберг. Германия.



руется с помощью шаговых двигателей, управляемых компьютером. Это дает возможность проводить исследования на коротких радиоволнах вплоть до 4 мм. Радиотелескоп GBT доступен для использования радиоастрономам всего мира по конкурсным научным заявкам.

Крупным отечественным радиотелескопом является РАТАН-600 (Радиотелескоп Академии наук диаметром 600 м), сооружённый в 1976 г. на Северном Кавказе, близ станции Зеленчукской. Зеркало этого телескопа не покрывает всю площадь круга, а представляет собой кольцо диаметром около 600 м, собранное из 895 алюминиевых щитов высотой 7 м. Угловое разрешение такой системы определяется диаметром кольца и составляет на волне 3 см около 10". В реальных наблюдениях всё кольцо сразу используется редко. Телескоп разбит на секторы: северный, южный, восточный и западный. Щиты

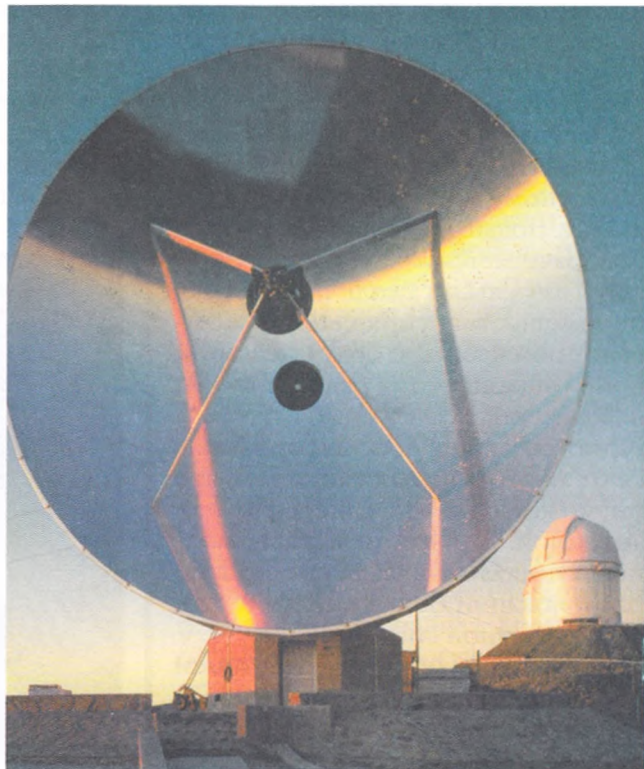
каждого сектора ориентируются на выбранный источник, а в фокусе каждого сектора установлен облучатель, перемещая который можно наблюдать источник в течение нескольких минут.

До сих пор были рассмотрены радиотелескопы, на которых вся энергия радиоволн фокусируется с помощью зеркала или системы зеркал на общий облучатель и усиливается затем одним приёмником. Есть другой тип радиотелескопа: излучение принимается независимыми антеннами, усиливается на каждой антенне и передаётся по кабелям или волноводам для суммирования сигналов. Длину кабелей подбирают так, чтобы сигналы от всех антенн поступали на суммирующее устройство в одной фазе (синфазно). Тем самым осуществляется электрическая фокусировка всей антенной системы. Подобные радиотелескопы называются синфазными антеннами.



▲ Радиотелескоп РАТАН-600. Россия.

► Субмиллиметровый радиотелескоп диаметром 15 м (Швеция — Европейская южная обсерватория). Установлен в Чили.





На радиоастрономической станции ФИАН в городе Пущино Московской области работает Большая синфазная антенна (БСА), представляющая собой поле взаимосвязанных дипольных антенн длиной 300 м и шириной 400 м. Эффективная собирающая площадь БСА почти такая же, как у радиотелескопа в Аресибо. БСА работает на волне 3 м. При помощи этого радиотелескопа исследуют, прежде всего, пульсары и ядра галактик.

Увеличение размера радиотелескопов повысило их чувствительность, а также привело к улучшению углового разрешения (оно характеризует угловые размеры самых мелких наблюдаемых деталей). Разрешение тем выше, чем меньше отношение длины волны к диаметру телескопа. Таким образом, благодаря большому диаметру радиоантенны можно получить более «резкое» изображение радиоисточника на данной длине волны.

Уже в 1950-х гг. для достижения более высокого углового разрешения астрономы стали использовать радиоинтерферометры — системы из нескольких радиотелескопов, соединённых электрическими связями. Благодаря этому удалось определить точные координаты радиоисточника Кассиопея А и отождествить источник Лебедь А с удалённой галактикой. Австралийские исследователи с помощью морского интерферометра, в котором вместо второго радиотелескопа использовался сигнал, отражённый от морской поверхности, отождествили несколько новых радиоисточников: Телец А — с Крабовидной туманностью, Кентавр А и Деву А — с далёкими галактиками. К концу 1950-х гг. стало ясно, что радиоастрономы открыли новую, невидимую Вселенную.

В последние годы (2005—2010 гг.) находятся в стадии разработки или близки к завершению несколько

новых проектов радиоастрономических инструментов. Наиболее продвинул международный проект Большой решётки радиотелескопов миллиметрового диапазона ALMA (Atacama Large Millimeter Array), строящейся на высокогорном плато в Андах (Чили), в пустыне Атакама на высоте 5 км над уровнем моря. Система будет состоять из 64 радиотелескопов диаметром 12 м, высокоточная поверхность которых позволит выполнять исследования на волнах до 1 мм. Возможность работы на таких коротких радиоволнах обеспечивается уникальным климатом высокогорной пустыни Атакама — самого засушливого места на Земле (именно водяной пар поглощает радиоволны миллиметрового диапазона). Радиотелескопы будут расположены по специальной схеме на расстояниях от 500 м до 14 км друг от друга. ALMA станет мощнейшим инструментом для получения радиоизображений самых разных по природе космических радиоисточников.

Другой грандиозный радиоастрономический проект — система радиотелескопов с общей собирающей площадью 1 кв. км SKA (Square Kilometre Array). В нем участвуют 19 стран, включая Россию. Планируемый диапазон длин волн SKA — от 3 см до 4 см. Система будет состоять из многих тысяч приёмных антенн, не похожих на привычные радиотелескопы. Конструкция этих антенн основывается на новейших технологиях и цифровых методах регистрации и обработки радиосигналов. Отдельные приёмные элементы планируется расположить на расстояниях до 3000 км, а принятые сигналы передавать в центр обработки по оптоволоконным линиям. Первая очередь системы SKA будет испытана в 2017 г.

С помощью радиоастрономии были открыты квазары, пульсары,

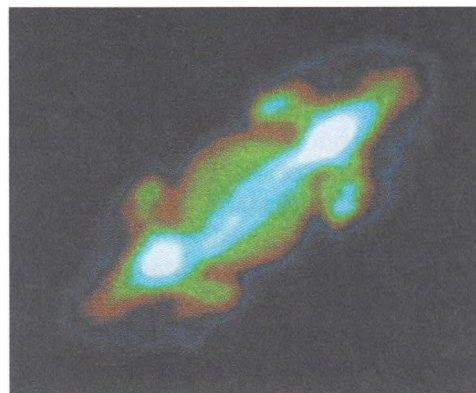


► Радиоизлучение Юпитера. Видны радиационные пояса.

межзвёздные мазеры, реликтовое радиоизлучение, обнаружены взрывы звёзд, столкновения галактик. Получила развитие теория механизмов радиоизлучения — теплового, синхротронного, мазерного. В настоящее время радиоастрономия находится на переднем крае астрофизических исследований. Обладая самыми чувствительными приёмниками излучения, она изучает наиболее далёкие объекты во Вселенной. Современная радиоастрономия обеспечивает и наивысшее угловое разрешение — способность видеть мельчайшие детали строения небесных радиоисточников. Высокочувствительные и высококачественные радиоастрономические исследования разнообразных уникальных и во многом ещё загадочных объектов Вселенной, несомненно, принесут новые захватывающие открытия.

МЕХАНИЗМЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. Любое нагретое тело излучает электромагнитные волны. Чем выше температура тела, тем более коротковолновое излучение преобладает в его спектре. Закон распределения энергии в спектре теплового излучения был сформулирован немецким физиком Максом Планком и назван в его честь законом Планка. При температуре 6000 К максимум излучаемой энергии приходится на оптический диапазон. Таков спектр излучения поверхности Солнца. Более горячая звезда излучает большую часть энергии в ультрафиолетовом диапазоне, менее горячая — в инфракрасном. Для того чтобы спектр имел максимум в сантиметровом диапазоне радиоволн, температура источника должна быть всего 3 К ($-270\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Тепловыми космическими радиоисточниками являются и тела Солнечной системы (Луна, планеты и их спутники), и облака межзвёздного газа, нагретого ультрафиолетовым излучением горячих звёзд. Но, как правило, мощность этого излучения невелика.

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. *Синхротронное излучение* порождается электронами, движущимися с релятивистскими скоростями (т. е. близкими к скорости света) в магнитном поле. Такое излучение впервые обнаружили в ускорителе частиц — синхротроне. Заряженная частица движется в магнитном поле не по прямой, а по винтовой линии. Размер витков зависит от заряда частицы, её массы и напряжённости магнитного поля. Вращаясь, частица постепенно теряет энергию, которая уходит на излучение электромагнитных волн. Излучение релятивистской частицы сосредоточено в узком конусе, направленном вдоль вектора её мгновенной скорости, и имеет более высокую частоту, чем нерелятивистское излучение. Излучение отдельных частиц, обладающих различными скоростями, складывается и образует наблюдаемое синхротронное излучение. Это излучение нетеплового характера, его интенсивность возрастает с увеличением длины волны. Синхротрон-



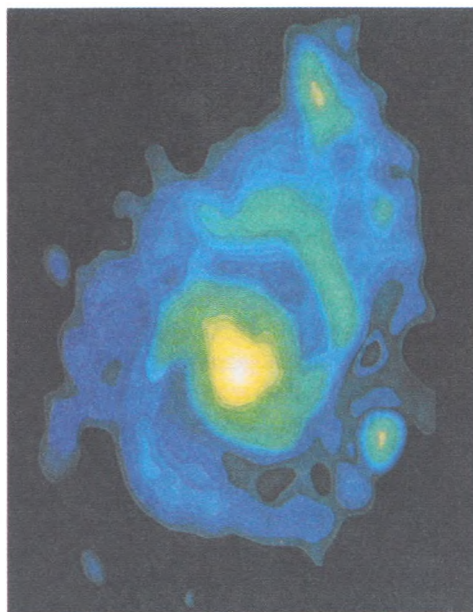
ную природу имеет и большинство внегалактических радиоисточников. Это самый распространённый механизм космического радиоизлучения. Его примеры — излучение остатков вспышек сверхновых (Крабовидная туманность, Кассиопея А), а также радиоизлучение, рождающееся в магнитосфере планеты Юпитер.

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА НА ВОЛНЕ 21 см. Как тепловое, так и синхротронное радиоизлучение имеет непрерывный спектр. Оба типа излучения обязаны движению свободных электронов. Но связанный, т. е. входящий в состав атома или молекулы, электрон также может излучать при переходе с одной орбиты на другую (из одного энергетического состояния в другое). При этом излучение имеет определённую длину волны, зависящую от разности энергий исходного и конечного состояний, и представляет собой узкую спектральную линию. Чем больше разность энергий, тем короче длина волны излучаемой спектральной линии.

Чтобы спектральная линия попала в радиодиапазон, необходим переход между очень близкими энергетическими состояниями. В 1945 г. такой переход для атома водорода нашёл нидерландский астрофизик Хендрик ван де Хюлст. Он показал, что, когда атом водорода самопроизвольно переходит из состояния с одинаковыми направлениями осей вращения электрона и протона в состояние с противоположными направлениями их осей, должна излучаться спектральная радиолиния с длиной волны 21 см. Ожидаемую интенсивность предсказанной ван де Хюлстом радиолинии рассчитал Иосиф Самуилович Шкловский в 1948 г.

Уже в 1951 г. радиолиния нейтрального водорода с длиной волны 21 см была обнаружена почти одновременно тремя исследовательскими

группами в США, Австралии и Нидерландах. Радиоастрономические измерения в линии 21 см стали эффективным средством изучения Вселенной, ведь до этого нейтральный водород, составляющий более половины массы галактического межзвёздного вещества, оставался ненаблюдаемым. Измерения в линии 21 см позволили определить плотность, температуру и скорость движения облаков межзвёздного водорода в нашей и соседних галактиках.



Радиоизображение галактики NGC 5194 в линии водорода 21 см.

РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ РАДИОЛИНИИ. Линия 21 см излучается облаками холодного нейтрального водорода, в которых атомы находятся на самом низком — основном — энергетическом уровне, т. е. электрон обращается вокруг протона по ближайшей к нему орбите. Кроме основного состояния у атома имеется бесконечный ряд возможных возбуждённых состояний, когда электрон обращается вокруг протона по более удалённой орбите с некоторым номером. Для основного состояния $n = 1$. В возбуждённом состоянии атом не может находиться долго.



В конце концов электрон возвращается на основную орбиту путём одного или нескольких переходов, каждый раз испуская излучение соответствующей длины волны. Переходы между орбитами с большими номерами (к примеру, с номера 110 на 109-й) соответствуют излучению в радиодиапазоне, которое называется *рекомбинационным*.

Возможность наблюдения рекомбинационных радиолиний предсказал российский астроном Николай Семёнович Кардашёв в 1959 г. Эти линии дают богатую информацию о физических условиях в газовых туманностях и в межзвёздной среде. Рекомбинационные линии обнаружены не только у водорода, но также у атомов гелия и углерода, причём углеродные радиолинии наблюдались при переходах между орбитами с рекордно большими номерами — более 700. Длины волн таких линий составляют около 30 м. Они открыты украинским радиоастрономом А. А. Коноваленко на 2-километровом синфазном радиотелескопе УТР-2 близ Харькова.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЛИНИИ И МАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. О существовании молекул в межзвёздной среде было известно из наблюдений линий межзвёздного поглощения в спектрах далёких звёзд. Но такие линии, к сожалению, попадают преимущественно в ультрафиолетовый участок оптического диапазона, для которого земная атмосфера недостаточно прозрачна. Поэтому детальные исследования межзвёздных молекул стали возможны только с развитием радиоастрономии. На принципиальную возможность радиоастрономических наблюдений межзвёздных молекул обратил внимание И. С. Шкловский ещё в 1949 г. Он рассчитал длины волн ожидаемых радиолиний молекулы гидроксила (ОН). И хотя этих молекул в межзвёздной среде

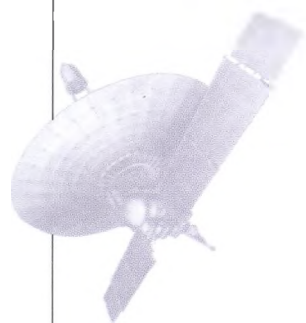
в 10 млн раз меньше, чем водорода, четыре радиолинии ОН были найдены в 1963 г. на длинах волн, близких к 18 см. Аномальные свойства (очень высокая интенсивность) радиолиний ОН обусловлена особым механизмом излучения. Источник этого излучения именуют *мазером* по начальным буквам английской фразы Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation — «усиление микроволн за счёт вынужденного излучения».

Чтобы работал мазерный механизм усиления излучения, число молекул, находящихся на высоком энергетическом уровне, должно быть больше, чем на низком. В нормальных условиях всё как раз наоборот: большинство молекул или атомов пребывает на нижнем энергетическом уровне. Тем не менее оказалось, что при определённых условиях в межзвёздных облаках естественным путём может сложиться такое необычное распределение молекул по энергетическим состояниям. Оно и обеспечивает мазерное радиоизлучение.

РАДИОВСЕЛЕННАЯ

СПОКОЙНОЕ И БУРНОЕ СОЛНЦЕ. Солнце — самый яркий радиоисточник на небе, но только потому, что оно намного ближе к Земле, чем другие объекты. Если Солнце поместить на расстоянии ближайших звёзд, то его можно будет увидеть невооружённым глазом, но не удастся заметить даже самым крупным радиотелескопом. В радиодиапазоне Солнце излучает очень небольшую часть своей энергии. Что же представляет собой это излучение?

Радиоизлучение Солнца делится на два вида: излучение спокойного Солнца и радиовсплески. Радиоизлучение спокойного Солнца наблюдается в минимумах солнечной активности, которая имеет в среднем





11-летний цикл. Это излучение возникает главным образом в протяжённой солнечной атмосфере. Проявления активности Солнца — выбросы плазмы, наблюдаемые в оптике в виде вспышек и протуберанцев, — сопровождаются радиовсплесками, т. е. резким и кратковременным увеличением интенсивности радиоизлучения в миллионы раз.

ПУЛЬСАРЫ. В середине 1960-х гг. радиоастрономы Великобритании решили провести первый полный обзор северного полушария неба по выявлению мерцающих радиоисточников на волне 75 см. Для этого была сооружена специальная антенная решётка из параллельных рядов медной проволоки. Работу по анализу наблюдений поручили аспирантке Кембриджского университета Джоселин Белл. Её научным руководителем и организатором всей программы был Энтони Хьюиш. День за днём Джоселин аккуратно просматривала записи, фиксируя мерцающие радиоисточники. И однажды она нашла быстропеременный источник — «помеху», которая наблюдалась глубокой ночью, когда мерцающих источников не должно было быть. Вскоре Джоселин обнаружила, что «помеха» повторяется через 23 ч 56 мин. Вспомнили открытие Янского? Да, этот период соответствует одним звёздным суткам. Значит, источник находится за пределами Солнечной системы.

Оказалось, что странный сигнал представляет собой периодические короткие импульсы, точность повторения которых просто феноменальна. Поначалу астрономы даже считали, что обнаружили сигналы внеземной цивилизации. Поэтому несколько месяцев открытие держали в секрете. Первые специальные записи периодического сигнала были сделаны 28 ноября 1967 г., а публикация об открытии появилась лишь в феврале 1968-го. За это время

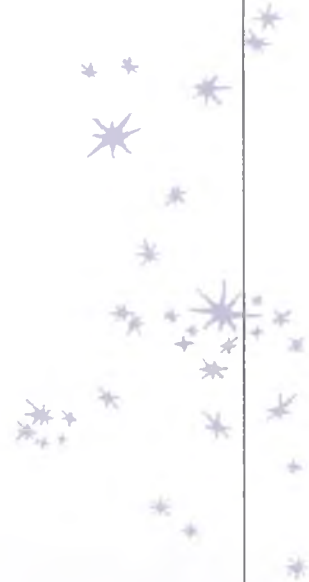
Джоселин нашла в своих записях ещё несколько подобных источников. По импульсному характеру излучения они и были названы *пульсарами*. За открытие и интерпретацию радиоизлучения пульсаров Энтони Хьюишу присуждена Нобелевская премия по физике.

В настоящее время установлено, что пульсары представляют собой нейтронные звёзды, образовавшиеся после вспышек сверхновых. Нейтронная звезда — экзотический объект. Масса её в полтора раза больше солнечной, а радиус всего около 10 км. Она генерирует узконаправленный поток радиоизлучения. В результате вращения нейтронной звезды этот поток попадает в поле зрения внешнего наблюдателя через равные промежутки времени — так образуются импульсы пульсара (см. статью «Необычные объекты: нейтронные звёзды и чёрные дыры»).

Постоянство периода пульсации объясняется стабильностью вращения нейтронных звёзд. Некоторые пульсары даже используются для контроля точности часов.

Сегодня известны уже около 2 тыс. пульсаров. Ближайшие из них расположены на расстоянии около 100 световых лет от Солнца. Нейтронные звёзды — пульсары — это заключительная фаза эволюции массивных звёзд.

ГИГАНТСКИЕ РАДИОГАЛАКТИКИ. Радиоисточником является практически каждая галактика. Основной поток радиоволн порождается энергичными электронами, которые движутся в слабых магнитных полях межзвёздного пространства. Свой вклад в радиоизлучение вносят и остатки сверхновых звёзд, и газовые туманности, нагретые молодыми звёздами. Но в целом галактики — довольно слабые «радиостанции». Нормальная галактика излучает в радиодиапазоне на несколько порядков



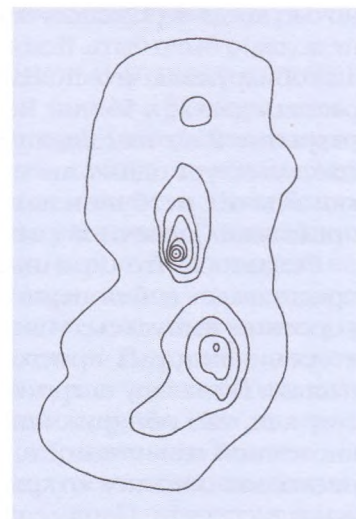


меньше энергии, чем в оптической или инфракрасной области спектра. Однако встречаются поразительные исключения — галактики, мощность радиоизлучения которых в тысячи и десятки тысяч раз выше, чем у нашей Галактики или сходных с ней систем. Поэтому они получили название *радиогалактик*.

На расстоянии около 16 млн световых лет от нас, в созвездии Кентавра, находится эллиптическая галактика, имеющая обозначение NGC 5128. Это самая близкая к нам галактика с мощным радиоизлучением. С ней связан один из наиболее ярких радиоисточников на небе — Кентавр А. Галактика NGC 5128 была хорошо известна и до открытия этого радиоисточника. Обычно в эллиптических галактиках мало пыли и газа (см. статью «Многообразие галактик»), а вот NGC 5128 как бы рассечена на две части широкой тёмной полосой пыли и содержит многочисленные газовые облака. Астрономы считают, что в далёком прошлом здесь могло произойти столкновение гигантской эллиптической галактики с другой

звёздной системой, содержащей большое количество межзвёздного газа. На радиоизображениях Кентавр А предстаёт в виде центрального источника (он совпадает с ярким облаком в самом центре галактики на оптической фотографии) и двух огромных радиовыбросов, выходящих далеко за пределы оптического изображения. Виден также тонкий мост, связывающий ядро и радиовыбросы.

Большинство радиогалактик имеет двойную структуру и компактный источник в центре. Напрашивается объяснение, что центральная галактика посредством какого-то механизма выбрасывает два противоположно направленных потока релятивистских заряженных частиц и они, двигаясь в магнитном поле, генерируют синхротронное радиоизлучение. Откуда же испускаются направленные потоки релятивистских частиц в течение многих миллионов лет и что является источником их энергии? В пульсарах, например, источником энергии служит вращение магнитной нейтронной звезды. Пред-



Радиогалактика Кентавр А.
Справа — распределение
интенсивности радиоизлучения.



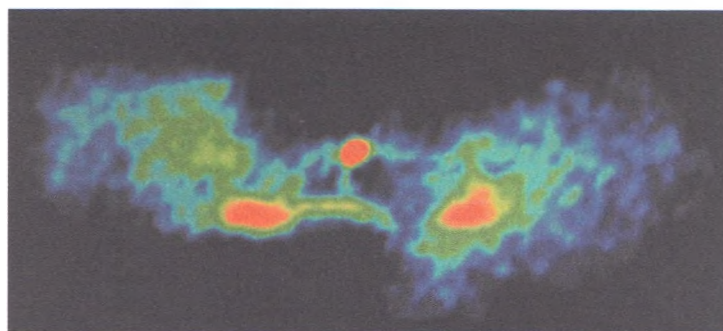
полагается, что в радиогалактиках энергию генерирует так называемая *чёрная дыра* — массивный и весьма компактный объект, образовавшийся в центре гигантской галактики. Для нескольких галактик получены косвенные свидетельства существования чёрных дыр: очень быстрое вращение газа в самом центре галактики, которое требует присутствия компактного массивного тела, не излучающего света (см. также статьи «Белые карлики, нейтронные звёзды и чёрные дыры» и «Многообразие галактик»).

Межзвёздный газ, находящийся около такой вращающейся чёрной дыры, будет, падая на неё, вовлекаться во вращение. Взаимодействие между частицами газа — вязкое трение — приведёт к образованию плотного газового диска. По мере приближения к чёрной дыре газ должен нагреваться до миллиардов градусов.

Падающий газ несёт в себе магнитное поле, которое становится очень сильным вблизи чёрной дыры. Его взаимодействие с горячим, быстро движущимся газом в мощном гравитационном поле чёрной дыры приводит к сложным плазменным эффектам, сопровождающимся ускорением заряженных частиц (протонов, электронов) и их выбросом из ядра, а затем и из галактики в форме двух узконаправленных потоков. Возникающее при этом синхротронное излучение электронов и превращает галактику с таким активным ядром в радиогалактику.

Процесс выброса ускоренных частиц может продолжаться десятки миллионов лет, пока не иссякнут запасы газа, способного «упасть» в самый центр галактики.

КВАЗАРЫ. Кварзар излучает столько энергии, сколько могли бы излучать десятки галактик, собранных вместе. И при этом кварзары выглядят точечными звездообразными объ-

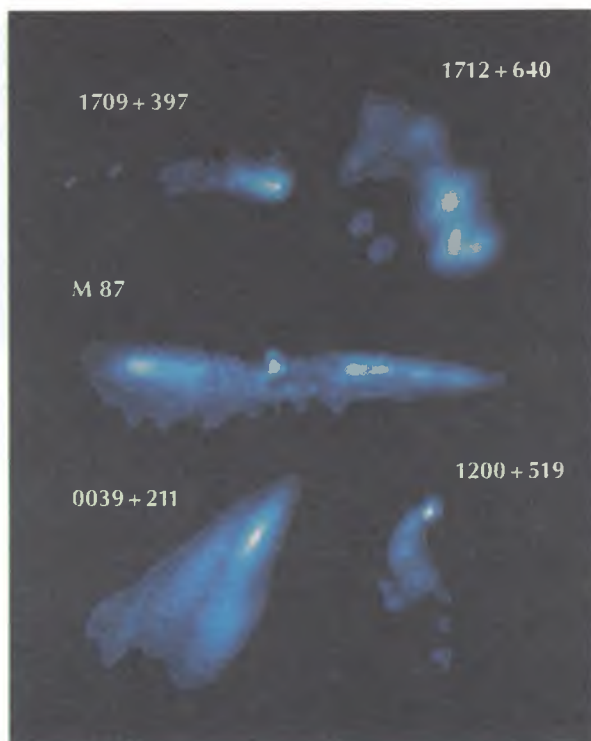


ектами, за что они и получили своё имя: *квазизвёздные радиоисточники*. Почему же такая энергия выделяется в маленьком объёме? Это главная и пока ещё до конца не раскрытая тайна квазаров.

К настоящему времени открыты тысячи квазаров. Не все, но многие из них являются мощнейшими радиоисточниками. 3С 273 — один из самых близких. Большинство квазаров находится на расстояниях 10—15 млрд световых лет от нас, т. е. почти на границе наблюдаемой Вселенной. Что же это за объекты, которые выглядят как звёзды, удалены на гигантские расстояния и излучают энергии в десятки, а то и в сотни раз больше, чем целые галактики? Мощность излучения квазаров наиболее высокой светимости такова, что превышает мощность излучения обычной звезды типа Солнца более чем в тысячу миллиардов раз! Законченной теории квазаров нет, но астрофизики имеют весьма правдоподобную гипотезу.

По своим наблюдаемым свойствам квазары похожи на активные ядра известных галактик (см. статью «Многообразие галактик»), только уровень их активности значительно выше. Для них также характерны и бурное движение газа, и сильное радиоизлучение, и выброс струй вещества. Как и активные ядра галактик, квазары являются переменными источниками. Возникло предположение, что все квазары или, по крайней

Гигантская радиогалактика NGC 6166.



Радиоизображения некоторых квазаров и галактики М 87.

мере, их значительная часть — это ядра далёких галактик на стадии необычно высокой активности, когда их оптическое излучение имеет столь высокую мощность, что «забивает» излучение самой галактики. Действительно, вокруг многих не слишком далёких квазаров было обнаружено слабое свечение, вероятно связанное с окружающей их звёздной системой. Иногда даже видны структурные детали, типичные для галактик.

После знакомства с квазарами читатель вряд ли рассчитывает столкнуться с чем-либо ещё более грандиозным. Однако именно это нам сейчас и предстоит. Речь пойдёт о самом важном достижении радиоастрономии — об открытии реликтового радиоизлучения, которое является отблеском Большого взрыва Вселенной.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ. По современным представлениям, расширяющаяся Вселенная имела в прошлом огромную плотность вещества и очень высокую температуру. Около 14 млрд лет назад всё вещество, из которого сейчас состоят галактики, представляло собой плотную высокотемпературную плазму. Вещество и излучение находились в термодинамическом равновесии. Примерно через миллион лет после начала расширения температура понизилась настолько, что произошёл захват электронов атомными ядрами, после чего равновесие между излучением и веществом нарушилось. Энергия квантов оказалась недостаточной, чтобы ионизовать нейтральный водород. Поэтому излучение стало проходить через вещество как через прозрачную среду. В момент рекомбинации температура вещества составляла около 3000 К. Не взаимодействующее с веществом излучение навсегда осталось во Вселенной как «память» о раннем периоде её эволюции.

По мере расширения Вселенной это излучение охлаждалось, т. е. спектр его соответствовал тепловому излучению среды со всё более и более низкой температурой. По расчёту, выполненному физиком Георгием Антоновичем Гамовым ещё в 1948 г., современная температура излучения должна составлять 5—6 К. В начале 1960-х гг. астрофизик Роберт Дикке готовил со своими коллегами из Принстонского университета США программу поиска такого излучения. Тогда же советские учёные А. Д. Дорошкевич и И. Д. Новиков рассчитали ожидаемый спектр излучения и высказали предположение, что его можно обнаружить.

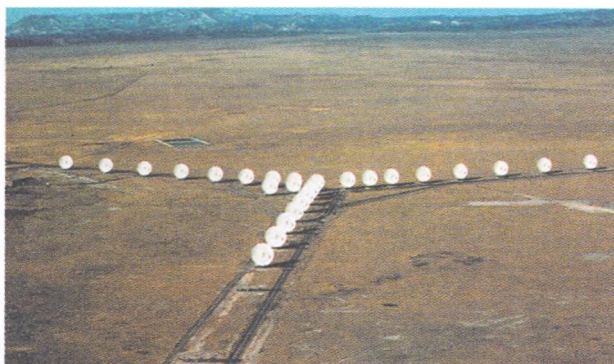
Тем временем американские инженеры Арно Пензиас и Роберт Уилсон настраивали большую рупорную антенну, предназначенную для ретрансляции телевизионных передач



из Америки в Европу через спутник связи на волне 7,3 см. (Всё как во времена Янского!) Измерения показали, что после тщательного учёта шумов от неба, земли, кабелей и самого усилителя остаётся загадочный сигнал, соответствующий источнику с температурой около 3,5 К: излучение с такой температурой приходило со всех направлений на небе.

Сейчас твёрдо установлено, что трёхградусное радиоизлучение, приходящее с любого направления на небе, представляет собой излучение горячей Вселенной, оставшееся от эпохи рекомбинации. Обнаружение фонового излучения, которое было названо *реликтовым*, со всей убедительностью подтвердило модель горячей расширяющейся Вселенной. Пензиас и Уилсон за своё открытие были удостоены Нобелевской премии.

Распределение энергии в спектре реликтового излучения соответствует температуре 2,7 К независимо от того, в каком направлении его наблюдать. Потому его часто и называют трёхградусным. Лишь высокоточные измерения интенсивности этого радиоизлучения позволили выявить очень слабую неоднородность. Она связана с движением самого наблюдателя. Удалось обнаружить незначительное «поярчание»

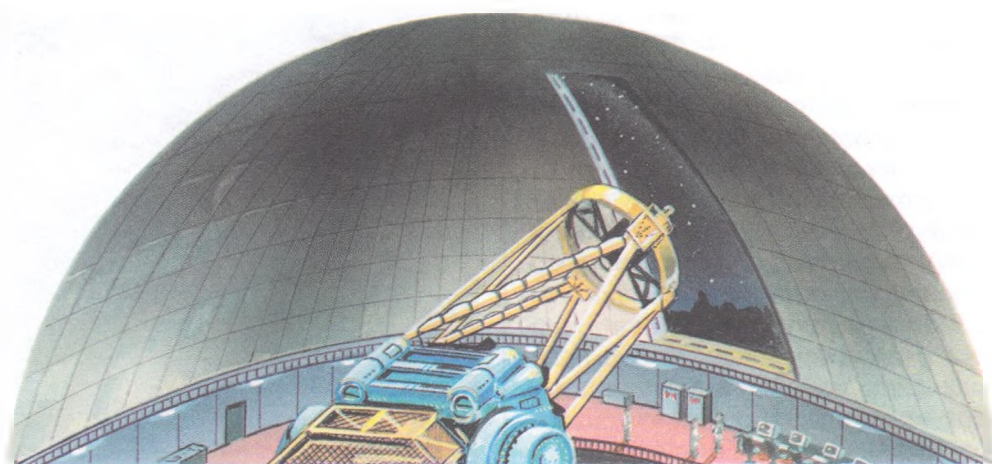


реликтового фона в том направлении, куда движется Земля вместе с Солнцем и всей нашей Галактикой (со скоростью несколько сотен километров в секунду) относительно общего электромагнитного поля реликтового излучения, которое как бы задаёт «абсолютную» систему координат во Вселенной.

Современная радиоастрономия занимается также такими проблемами, как поляризация космического радиоизлучения; космологические исследования, основанные на статистических подсчётах радиоисточников; плазменные механизмы генерации радиоизлучения; особенности распространения радиоизлучения в межзвёздной среде. В сущности, это ещё молодая наука. Многие таинственные явления и объекты ждут своих исследователей!

Мощная система радиотелескопов VLA (Очень большая антенная решётка). Штат Нью-Мексико, США.





АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

ТЕЛЕСКОПЫ — ОТ ГАЛИЛЕЯ ДО НАШИХ ДНЕЙ

ИЗОБРЕТЕНИЕ ТЕЛЕСКОПА ГАЛИЛЕЕМ

Весной 1609 г. профессор математики университета итальянского города Падуи узнал о том, что один голландец изобрёл удивительную трубу. Удалённые предметы, если их разглядывать через неё, казались более близкими. Взяв кусок свинцовой трубы, профессор вставил с двух её концов два стекла для очков: одно — плосковыпуклое, а другое — плосковогнутое. «Прислонив мой глаз к плосковогнутой линзе, я увидел

предметы большими и близкими, так как они казались находящимися на одной трети расстояния по сравнению с наблюдением невооружённым глазом», — писал Галилео Галилей.

Профессор решил показать свой инструмент друзьям в Венеции. «Многие знатные люди и сенаторы подымались на самые высокие колокольни церкви Венеции, чтобы увидеть паруса приближающихся кораблей, которые находились при этом так далеко, что им требовалось два часа полного хода, чтобы их заметили глазом без моей зрительной трубы», — сообщал он.



Разумеется, у Галилея в изобретении телескопа (от *греч.* «теле» — «вдаль», «далеко» и «скопео» — «смотреть») были предшественники. Сохранились легенды о детях очковых дел мастера, которые, играя с собирающими и рассеивающими свет линзами, вдруг обнаружили, что при определённом расположении относительно друг друга две линзы могут образовывать увеличивающую систему. Имеются сведения о зрительных трубах, изготовленных и продававшихся в Голландии до 1609 г. Главной особенностью телескопа Галилея было его высокое качество. Убедившись в плохом качестве стёкол для очков, Галилей начал шлифовать линзы сам. Некоторые из них сохранились до наших дней; их исследование показало, что они совершенны с точки зрения современной оптики. Правда, Галилею пришлось выбирать: известно, например, что, обработав 300 линз, он отобрал для телескопов всего несколько из них.

Однако трудности изготовления первоклассных линз были не самым большим препятствием при создании телескопа. По мнению многих учёных того времени, телескоп Галилея можно было рассматривать как дьявольское изобретение, а его автора следовало отправить на допрос в инквизицию. Ведь люди видят потому, думали они, что из глаз выходят зрительные лучи, ощупывающие всё пространство вокруг. Когда эти лучи натыкаются на предмет, в глазу появляется его образ. Если же перед глазом поставить линзу, то зрительные лучи искривятся и человек увидит то, чего в действительности нет.

Таким образом, официальная наука времён Галилея вполне могла считать видимые в телескоп светила и удалённые предметы игрой ума. Всё это учёный хорошо понимал и нанёс удар первым. Демонстрация телескопа, с помощью которого можно было обнаружить далёкие, невидимые глазом корабли, убедила

Галилей демонстрирует телескоп дожу Венеции.



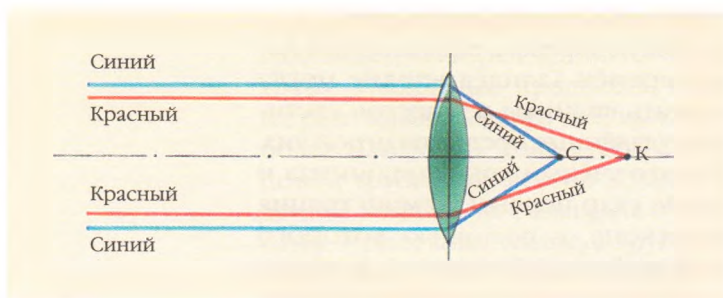
всех сомневавшихся, и телескоп Галилея молниеносно распространился по Европе.

ТЕЛЕСКОПЫ ГЕВЕЛИЯ, ГЮЙГЕНСА, КЕПЛЕРА И ПАРИЖСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Сын состоятельного гражданина польского города Гданьска Ян Гевелий занимался астрономией с детства. В 1641 г. он построил обсерваторию, на которой работал вместе с женой Елизаветой и помощниками. Гевелий сделал следующий шаг в деле усовершенствования зрительных труб.

У телескопов Галилея был существенный недостаток. Показатель преломления стекла зависит от длины волны: красные лучи отклоняются им слабее, чем зелёные, а зелёные — слабее, чем фиолетовые. Следовательно, простая линза даже безупречного качества имеет для красных лучей большее фокусное расстояние, чем для фиолетовых. Наблюдатель будет фокусировать изображение в сине-зелёных лучах, к которым глаз ночью чувствительнее всего. В результате яркие звёзды будут выглядеть как сине-зелёные точки, окружённые красной и синей каймой. Это явление называется *хроматической абберрацией*; разумеется, оно сильно мешает наблюдению звёзд, Луны и планет.

Схема
хроматической
абберации.



Теория и опыт показали, что влияние хроматической абберации можно уменьшить, если использовать в качестве объектива линзу с очень большим фокусным расстоянием. Гевелий начал с объективов с 20-метровым фокусом, а самый длинный его телескоп имел фокусное расстояние около 50 м. Объектив соединялся с окуляром четырьмя деревянными планками, в которые было вставлено множество диафрагм, делавших конструкцию более жёсткой и защищавших окуляр от постороннего света. Всё это подвешивалось с помощью системы канатов на высоком столбе; наводился телескоп на нужную точку неба с помощью нескольких человек, по-видимому отставных матросов, знакомых с обслуживанием подвижных судовых снастей.

Линзы Гевелий сам не изготавливал, а покупал их у одного варшавского мастера. Они были настолько совершенны, что при спокойной атмосфере удавалось увидеть дифракционные изображения звёзд. Дело в том, что даже самый совершенный объектив не может построить изображение звезды в виде точки. Из-за волнового характера света в телескоп с хорошей оптикой звезда выглядит как небольшой диск, окружённый светлыми кольцами убывающей яркости. Такое изображение называется *дифракционным*. Если оптика телескопа несовершенна или атмосфера неспокойна, дифракционной картины уже не видно: звезда представляется наблюдателю пятнышком, размер которого больше дифракционного. Такое изображение называют *атмосферным диском*.

Нидерландские астрономы братья Христиан и Константин Гюйгенсы строили Галилеевы телескопы по своему. Объектив, укрепленный на шаровом шарнире, помещался на столбе и мог с помощью особого приспособления устанавливаться на нужной высоте. Оптическая ось



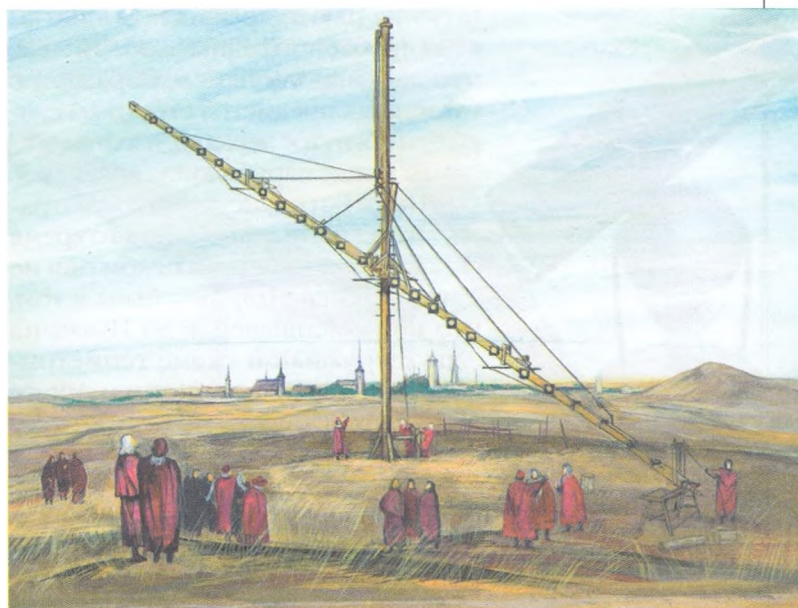
объектива направлялась на исследуемое светило наблюдателем, поворачивавшим его с помощью прочного шнура. Окуляр монтировался на треноге. 25 марта 1655 г. Христиан Гюйгенс открыл Титан — самый яркий спутник Сатурна, а также разглядел на диске планеты тень колец и начал изучение самих колец, хотя в то время они наблюдались с ребра. «В 1656 году, — писал он, — мне удалось рассмотреть в телескоп среднюю звезду Меча Ориона. Вместо одной я увидел двенадцать, три из них почти что касались друг друга, а четыре других светили через туманность, так что пространство вокруг них казалось значительно более ярким, чем остальная часть неба, казавшаяся совершенно чёрной. Как будто наблюдалось отверстие в небе, через которое видна более яркая область».

Гюйгенс полировал объективы сам, а его «воздушная труба» оказалась шагом вперёд по сравнению с «длинными трубами» Гевелия. Придуманный им окуляр просто изготовить, и он используется до сих пор.

Однолинзовые длинные рефракторы достигли в XVII в. мыслимых пределов совершенства; астрономы научились отбирать для их объективов высококачественные заготовки стекла, точно обрабатывать и монтировать их. Развивалась теория прохождения света через оптические детали (Декарт, Гюйгенс).

Высокий уровень мастерства, zaloженный Галилеем, способствовал расцвету итальянской оптической школы. В конце XVII в. строилась Парижская обсерватория; она была оснащена несколькими телескопами системы Галилея. С помощью двух таких инструментов и 40-метрового телескопа первый её директор, итальянец Джованни Доменико Кассини, открыл четыре новых спутника Сатурна и изучал вращение Солнца.

Гениальный немецкий астроном Иоганн Кеплер получил телескоп Га-



лился на короткое время от одного из друзей. Он мгновенно сообразил, какие преимущества приобретёт этот прибор, если заменить рассеивающую линзу окуляра на собирающую. Телескоп Кеплера, дающий в отличие от телескопа Галилея перевёрнутое изображение, применяется повсеместно и по сей день.

Длинный
телескоп Гевелия.

РЕФЛЕКТОРЫ НЬЮТОНА — ГЕРШЕЛЯ

Основной недостаток Галилеевых труб — хроматическую aberrацию — взялся устранить Исаак Ньютон. Сначала в качестве объектива он хотел использовать две линзы — положительную и отрицательную, которые имели бы разную оптическую силу, но противоположную по знаку хроматическую aberrацию. Ньютон перепробовал несколько вариантов и пришёл к ошибочному выводу, что создание ахроматического линзового объектива невозможно. (Правда, современники свидетельствуют, что эти опыты он проводил в большой спешке.)



Зеркальный
телескоп
Ньютона.

Тогда Ньютон решил покончить с этой проблемой радикально. Он знал, что ахроматическое изображение удалённых предметов строит на своей оси вогнутое зеркало, изготовленное в виде параболоида вращения.

Попытки сконструировать отражательные телескопы в то время уже делались, но успехом они не увенчались. Причина была в том, что в применявшейся до Ньютона двухзеркальной схеме геометрические характеристики обоих зеркал должны были быть строго согласованы. А этого оптикам как раз и не удавалось добиться.

Телескопы, у которых роль объектива выполняет зеркало, называются *рефлекторами* (от лат. reflectere — «отражать») в отличие от телескопов с линзовыми объективами — *рефракторов* (от лат. refractus — «преломлённый»). Ньютон сделал свой первый рефлектор с одним вогнутым

зеркалом. Другое небольшое плоское зеркало направляло построенное изображение вбок, где наблюдатель рассматривал его в окуляр. Этот инструмент учёный изготовил собственноручно в 1668 г. Длина телескопа составляла около 15 см. «Сравнивая его с хорошей трубой Галилея длиной в 120 см, — писал Ньютон, — я мог читать на большем расстоянии с помощью моего телескопа, хотя изображение в нём было менее ярким».

Ньютон не только отполировал зеркало первого рефлектора, но и разработал рецепт так называемой зеркальной бронзы, из которой он отлил заготовку зеркала. В обычную бронзу (сплав меди и олова) он добавил некоторое количество мышьяка: это улучшило отражение света; к тому же поверхность легче и лучше полировалась.

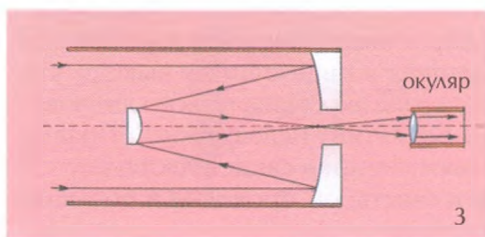
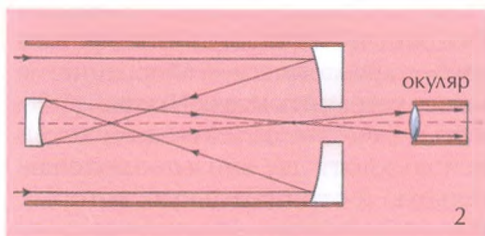
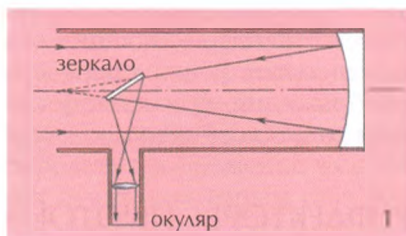
В 1672 г. француз, преподаватель провинциального лица (по другим данным, архитектор) Кассегрен предложил конфигурацию двухзеркальной системы, первое зеркало в которой было параболическим, второе же имело форму выпуклого гиперboloида вращения и располагалось соосно перед фокусом первого. Эта конфигурация очень удобна и сейчас широко применяется, только главное зеркало стало гиперболическим. Но в то время изготовить телескоп Кассегрена так и не смогли из-за трудностей, связанных с достижением нужной формы зеркала.

Компактные, лёгкие в обращении высококачественные рефлекторы с металлическими зеркалами к середине XVIII в. вытеснили «длинные трубы», обогатив астрономию многими открытиями.

В то время на английский престол была призвана Ганноверская династия; к новому королю устремились его соотечественники — немцы. Одним из них был Уильям Гершель, музыкант и одновременно талантливый астроном.

Схемы рефлекторов:

- 1 — система Ньютона;
- 2 — система Грегори;
- 3 — система Кассегрена.



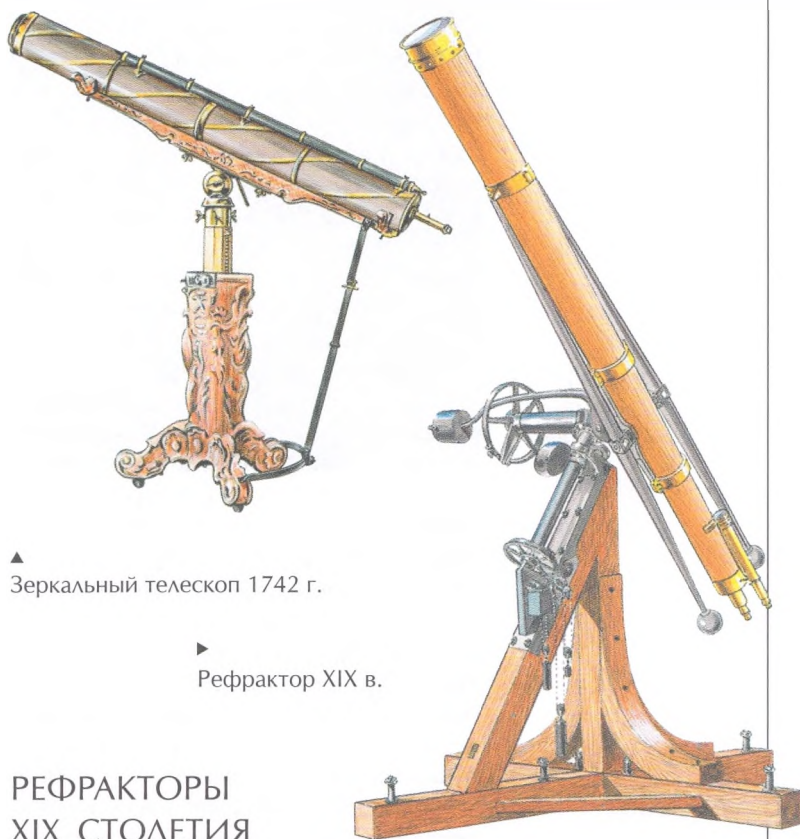


Убедившись в том, как трудно обращаться с трубами Галилея, Гершель перешёл к рефлекторам. Он сам отливал заготовки из зеркальной бронзы, сам шлифовал и полировал их; его оптический станок сохранился до наших дней. В работе ему помогали брат Александр и сестра Каролина; она вспоминала, что весь их дом, включая спальню, был превращен в мастерскую. С помощью одного из своих телескопов Гершель открыл в 1778 г. седьмую планету Солнечной системы, названную впоследствии Ураном.

Гершель непрерывно строил всё новые и новые рефлекторы. Король покровительствовал ему и дал деньги на строительство огромного рефлектора диаметром 120 см с трубой длиной 12 м. После многолетних усилий телескоп был закончен. Однако работать на нём оказалось трудно, а по своим качествам он не превзошёл меньшие телескопы столь значительно, как предполагал Гершель. Так родилась первая заповедь телескопостроителей: «Не делайте больших скачков».

Без преувеличения можно сказать, что создание современных крупных рефлекторов прочно стоит на заложенном в XVII—XVIII вв. фундаменте. Модифицированная конфигурация Кассегрена осуществляется во всех без исключения современных ночных телескопах. Искусство обращения с металлическими зеркалами, допустимый прогиб которых при любом положении телескопа не должен превышать малых долей микронметра, привело в конце концов к созданию высокосоввершенных управляемых компьютером оправ зеркал телескопов-гигантов. Оптические схемы некоторых окуляров того времени используются до сих пор. Наконец, именно тогда появились зачатки научных методов исследования формы поверхностей оптических элементов, которые в наши дни

выкристаллизовались в законченную научную дисциплину — технологию изготовления крупной оптики.



▲ Зеркальный телескоп 1742 г.

► Рефрактор XIX в.

РЕФРАКТОРЫ XIX СТОЛЕТИЯ

Потребовалось около века, чтобы убедиться в ошибочности утверждения Ньютона о том, что создать ахроматический объектив невозможно. В 1729 г. был изготовлен объектив из двух линз разного стекла, позволивший уменьшить хроматическую абerrацию. А в 1747 г. великий математик Леонард Эйлер рассчитал объектив, состоящий из двух стеклянных менисков (оптическое стекло, выпуклое с одной стороны и вогнутое с другой), пространство между которыми заполнено водой — совсем как в «Таинственном острове» Жюль Верна. Он должен был строить изображения, лишённые цветовой каймы.

Английский оптик Джон Доллонд вместе с сыном Питером предпринял



серию опытов с призмами из известного со времён Галилея венецианского стекла (крона) и нового английского сорта стекла — флинтгласа, обладавшего сильным блеском и применявшегося для изготовления украшений и бокалов. Выяснилось, что из этих двух сортов можно составить объектив, не дающий цветовой каймы: из кроны следует сделать положительную линзу, а из флинтгласа — несколько более слабую отрицательную. Началось массовое производство труб Доллонда.

Ахроматическими телескопами занималась вся Европа. Эйлер, Д'Аламбер, Клеро и Гаусс продолжали их расчёт; несколько лондонских оптиков оспаривали в суде взятый Доллондами патент на ахроматический объектив, но успеха не добились. Питер Доллонд разработал уже трёхлинзовый ахромат, по мнению астрономов, очень хороший; иезуитский профессор Руджер Бошкович в Падуе придумал специальный прибор — витрометр (от *лат.* vitrum — «стекло») для точного определения показателей преломления оптических стёкол. В 1780 г. Доллонды начали серийный выпуск нескольких типов армейского телескопа со складной трубой. Когда Джон Доллонд выдавал свою дочь замуж (разумеется, за оптику), её приданым служила часть патента на ахроматический объектив.

Научный метод изготовления линзовых объективов был введён в практику немецким оптиком Йозефом Фраунгофером. Он наладил контроль поверхностей линз по так называемым цветным кольцам Ньютона, разработал механические приборы для контроля линз (сферометры) и проанализировал расчёты Доллонда. Он начал измерять показатели преломления с помощью света натриевой лампы и заодно изучил спектр Солнца, найдя в нём множество тёмных линий, которые до сих пор называют фраунгоферовыми.

24-сантиметровый объектив для Дерптского рефрактора (Дерпт — ранее Юрьев, ныне Тарту, Эстония), изготовленный Фраунгофером, был прекрасно скорректирован по хроматической и сферической аберрациям; этот телескоп долгое время оставался крупнейшим в мире. Монтаж телескопа в Дерпте вёлся под руководством Василия Яковлевича Струве, впоследствии основателя и директора Пулковской обсерватории.

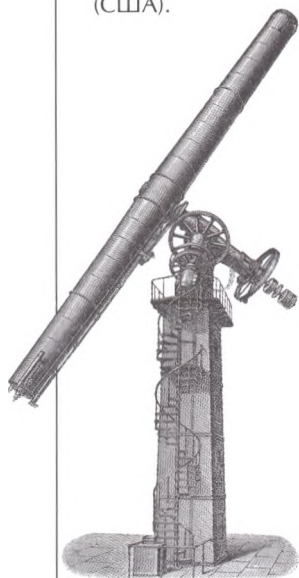
Дерптский рефрактор оказался невероятно удачным прибором. С его помощью Струве измерил расстояние до ярчайшей звезды северного полушария неба — Веги; оно оказалось огромным: около 25 световых лет. Конструкцию этого телескопа повторяли в течение всего XIX в.; небольшие телескопы делают по его образцу и сейчас.

ТЕЛЕСКОПЫ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ

К середине XIX в. рефрактор Фраунгофера стал основным инструментом наблюдательной астрономии. Высокое качество оптики, удобная монтировка, часовой механизм, позволяющий держать телескоп постоянно наведённым на звезду, стабильность, отсутствие необходимости непрерывно что-то подстраивать и регулировать завоевали заслуженное признание даже самых требовательных наблюдателей. Казалось бы, будущее рефракторов должно быть безоблачным. Однако наиболее проницательные астрономы уже поняли три главных их недостатка: это всё же заметный хроматизм, невозможность изготовить объектив очень большого диаметра и довольно значительная длина трубы по сравнению с рефлектором Кассегрена того же фокуса.

Хроматизм стал более заметным, потому что расширилась спект-

Рефрактор
Йеркской
обсерватории
(США).



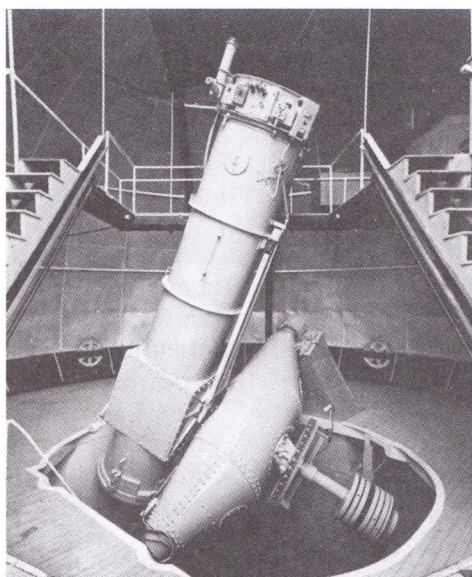


ральная область, в которой велись исследования небесных объектов. Фотографические пластинки тех лет были чувствительны к фиолетовым и ультрафиолетовым лучам и не чувствовали видимую глазом сине-зелёную область, для которой ахроматизировали объективы рефракторов. Приходилось строить двойные телескопы, в которых одна труба несла объектив для фотографических наблюдений, другая — для визуальных.

Кроме того, объектив рефрактора работал всей своей поверхностью, и в отличие от зеркала под него нельзя было подвести с задней стороны рычаги, уменьшающие его прогиб, а на зеркальных телескопах такие рычаги (система разгрузок) применялись с самого начала. Поэтому рефракторы остановились на диаметре около 1 м, а рефлекторы позднее дошли до 10 м, и это не предел.

Как всегда, появлению новых рефлекторов способствовало развитие техники. В середине XIX столетия немецкий химик Юстус Либих предложил простой химический метод серебрения стеклянных поверхностей. Это позволило изготавливать зеркала из стекла. Оно лучше полируется, чем металл, и значительно легче его. Стекловары также усовершенствовали свои методы, и можно было смело говорить о заготовках диаметром около 1 м.

Оставалось разработать научно обоснованный метод контроля вогнутых зеркал, что и сделал в конце 1850-х гг. французский физик Жан Бернар Леон Фуко, изобретатель общеизвестного маятника. Он помещал в центр кривизны испытываемого сферического зеркала точечный источник света и загораживал его изображение ножом. Глядя, с какой стороны при движении ножа перпендикулярно оси зеркала на нём появляется тень, можно установить нож точно в фокусе, а затем очень ясно



Рефлектор
Ликской
обсерватории
(США).

увидеть неоднородности и ошибки поверхности. Таким методом можно исследовать и рефракторы: точечным источником служит звезда. Чувствительный и наглядный, метод Фуко применяется и сейчас как любителями, так и профессионалами.

Фуко изготовил по своей методике два телескопа с длиной трубы 3,3 м и диаметром 80 см. Стало ясно, что у рефракторов Фраунгофера появился грозный конкурент.

В 1879 г. в Англии оптик Коммон изготовил вогнутое стеклянное параболическое зеркало диаметром 91 см. При его изготовлении использовались научные методы контроля. Зеркало приобрёл богатый любитель астрономии Кросслей, который смонтировал его в телескопе. Однако этот инструмент не устроил своего владельца, и в 1894 г. Кросслей объявил о его продаже. Приобрести его, правда бесплатно, согласилась организованная в Калифорнии Ликская обсерватория.

Крослеевский рефлектор попал в хорошие руки. Астрономы стремились получить от него максимум возможного: новый телескоп применялся для фотографирования астро-



номических объектов; с его помощью было обнаружено множество неизвестных ранее внегалактических туманностей, похожих на туманность Андромеды, но меньшего углового размера. Стеклоанный рефлектор первого поколения показал себя эффективным.

Следующий телескоп такого типа был построен уже на американской земле — также в Калифорнии, во вновь созданной солнечной обсерватории Маунт-Вилсон. Заготовку для зеркала диаметром 1,5 м отлили во Франции; её обработка велась в обсерватории, а механические части были заказаны в ближайшем железнодорожном депо.

Как можно судить по документам, полную ответственность за новый телескоп нёс один человек — оптик Джордж Ричи. Он был, выражаясь современным языком, главным конструктором этого прибора. Основными усовершенствованиями являлись очень хороший часовой механизм, новая система подшипников, устройство для быстрой подвижки фотокассеты в двух направлениях и меры по выравниванию температуры вблизи главного зеркала, чтобы предохранить его форму от искажения из-за теплового расширения. Ричи сам фотографировал небо; время экспозиции доходило до 20 ч (на день кассету с фотопластинкой убирали в тёмное помещение).

Результаты не заставили себя ждать: великолепные снимки Ричи до сих пор публикуются в учебниках и популярных изданиях.

Следующий, уже 2,5-метровый рефлектор начал работать в Маунт-Вилсон в 1918 г. Все усовершенствования предшественника и опыт его эксплуатации были использованы при конструировании гигантского по тем временам инструмента.

Новый телескоп был эффективнее предыдущего в том смысле, что на нём обычный, не искусственный в

обращении с телескопами астроном мог без труда фотографировать такие же слабые звёзды, какие получались на 1,5-метровом в качестве рекордных. А в руках мастера своего дела этот телескоп позволил сделать открытие мирового класса.

В начале XX в. расстояние до ближайших галактик являлось для астрономов такой же загадкой, как расстояние от Земли до Солнца в начале XVII в. Известны работы, в которых утверждалось, что туманность Андромеды находится в нашей Галактике. Теоретики благоразумно помалкивали; тем временем уже был разработан надёжный метод определения расстояний до далёких звёздных систем по переменным звёздам.

Осенью 1923 г. в туманности Андромеды открыли первую переменную звезду нужного типа — цефеиду. Вскоре их число увеличилось до десяти в разных галактиках. Удалось определить периоды этих переменных, а по ним — расстояния до других галактик (см. статью «Переменные звёзды»).

Измерение расстояний до нескольких внегалактических туманностей позволило установить, что чем дальше расположена галактика, тем с большей скоростью она от нас удаляется (см. статью «Структура Вселенной»).

1,5- и 2,5-метровый рефлекторы долго служили верой и правдой наблюдательной астрономии; сейчас они выведены из эксплуатации из-за засветки неба мегаполисом Лос-Анджелеса.

Перечислим основные особенности современных телескопов первого поколения.

Во-первых, главные зеркала их имеют строго параболическую форму. Они изготовлены из стекла типа зеркального со значительным коэффициентом теплового расширения (что является недостатком, поскольку форма зеркала искажается из-за не-



одинаковой температуры различных его частей) и выглядят как сплошной цилиндр с отношением толщины к диаметру приблизительно 1 : 7.

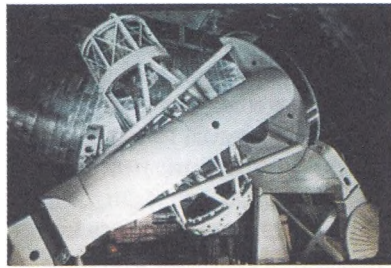
Во-вторых, конструкция их трубы выполнена по принципу максимальной жёсткости. Укреплённые в ней главное и вторичное зеркала должны находиться на одной оси в пределах ошибок, заданных при расчёте оптики. Если этого нет, то качество телескопа непременно ухудшается, поэтому конструкцию трубы телескопа рассчитывают так, чтобы в любом положении гнтие трубы было меньше заданного оптиками допуска. Естественно, такая труба достаточно массивна.

Подшипники телескопа — скольжения или шариковые. У первых двух телескопов нагрузку на них уменьшают поплавки, на которых телескоп почти плавает в ртутных ваннах.

СОЗДАНИЕ ТЕЛЕСКОПОВ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

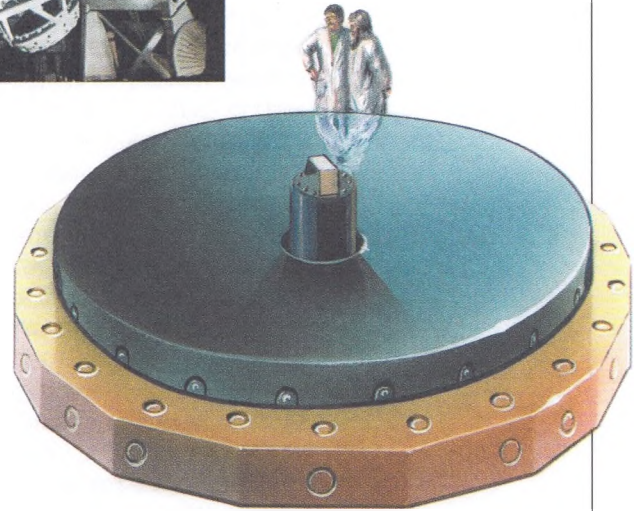
Итак, 2,5-метровый телескоп заработал и дал прекрасные научные результаты, а коллектив, сложившийся вокруг него на обсерватории Маунт-Вилсон, смело смотрел в будущее и обсуждал возможность создания более крупного инструмента. При этом называли диаметр 5 и даже 7,5 м. Заслужой руководителя обсерватории Дж. Хейла является то, что он уберёг своих сотрудников от ненужного стремления ко всё большему размерам и ограничил диаметр нового прибора пятью метрами. Кроме того, он достал (и это в условиях надвигающегося экономического кризиса 1929—1933 гг.) значительную сумму, позволившую начать работы.

Зеркало сплошным делать было нельзя: его масса при этом составила бы 40 т, что чрезмерно утяжелило бы конструкцию трубы и других частей телескопа. Его также нельзя было



► Зеркало телескопа.

◀ 5-метровый рефлектор обсерватории Маунт-Паломар (США).



делать из зеркального стекла, ведь с подобными зеркалами наблюдатели уже намучились: при перемене погоды и даже при смене дня и ночи форма зеркала искажалась, и оно чрезвычайно медленно «приходило в себя». Конструкторы хотели изготовить зеркало из кварца, у которого коэффициент теплового расширения в 15 раз меньше, чем у стекла, но этого сделать не удалось.

Пришлось остановиться на пирексе — разновидности жаропрочного стекла, разработанного для производства прозрачных сковород и кастрюль. Выигрыш в коэффициенте расширения составил 2,5 раза. В 1936 г. со второй попытки зеркало удалось отлить; на тыльной стороне оно имело ребристую структуру, что облегчило массу до 15 т и улучшило условия теплообмена. Обработка зеркала велась в обсерватории; на время Второй мировой войны она была приостановлена и закончилась в 1947 г. В конце 1949 г. 5-метровый телескоп вступил в строй.



Как и в рефлекторах первого поколения, форма его главного зеркала была параболической, наблюдения могли вестись в ньютоновском, кассегреновском, прямом или ломаном фокусах. Последний не перемещается при движении телескопа, и в нём можно устанавливать тяжёлое неподвижное оборудование, например большой спектрограф.

В конструкцию трубы 5-метрового рефлектора были внесены кардинальные изменения: она перестала быть жёсткой. Инженеры разрешили её концам гнуться относительно центра при условии, что оптические детали не будут смещаться друг относительно друга. Конструкция оказалась удачной и до сих пор используется во всех без исключения ночных телескопах.

Пришлось также изменить конструкцию подшипников телескопа. 5-метровый телескоп «плавает» на тонком слое масла, нагнетаемого компрессором в пространство между осью и её подшипниками. Такая система не имеет трения покоя и позволяет инструменту вращаться точно и плавно.

Одним из важнейших результатов работы 5-метрового рефлектора обсерватории Маунт-Вилсон стало достоверное доказательство того факта, что источником энергии звёзд являются термоядерные реакции в их недрах. Настоящий информационный взрыв в области исследования галактик также в значительной степени обязан наблюдениям на этом телескопе.

Телескопов второго поколения было изготовлено множество; характерным представителем их является рефлектор диаметром 2,6 м Крымской обсерватории.

Несколько слов о телескопостроении в нашей стране. В 1930-х гг. сложилось эффективное сотрудничество между астрономами и создателями телескопов, но ни на од-

ной обсерватории они не были объединены — это произошло позднее. Планировалось изготовить 81-сантиметровый рефрактор, рефлекторы диаметром 100 и 150 см и многочисленное вспомогательное оборудование. Великая Отечественная война помешала полностью осуществить эту программу, и первая серия телескопов небольшого диаметра (до 1 м) появилась в СССР только в 1950-х гг. Затем были сооружены два рефлектора диаметром 2,6 м и 6-метровый телескоп. Практически во всех южных республиках СССР были созданы новые или получили значительное развитие уже имевшиеся там обсерватории.

РАЗРАБОТКА РЕФЛЕКТОРОВ ТРЕТЬЕГО И ЧЕТВЁРТОГО ПОКОЛЕНИЙ

Работа на рефлекторах второго поколения показала, что 3-метровый телескоп с высококачественной оптикой, установленный в пункте со спокойной атмосферой, может оказывать эффективнее 5-метрового, работающего в более плохих условиях. Это было учтено при разработке рефлекторов третьего поколения.

Конструирование нового телескопа отличается от работ по созданию других видов техники. Современный самолёт испытывается много лет в виде опытных образцов и лишь потом идёт в серийное производство. Сейчас крупный телескоп стоит примерно столько же, сколько самолёт, но у астрономов, к сожалению, не бывает денег на опытный образец. Его заменяют тщательное изучение имеющихся инструментов и частые обсуждения проектов. Обычно первыми строятся один-два инструмента серии; накопленный при этом опыт чрезвычайно ценен. Если инструмент очень велик и дорог, всё же строится опытный экземпляр меньшего размера.



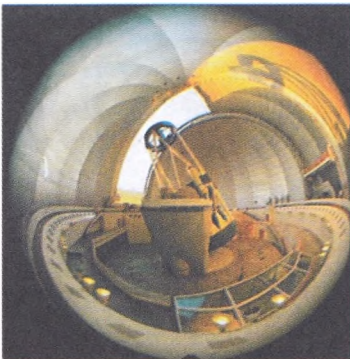
Основной особенностью телескопов третьего поколения является главное зеркало диаметром 3,5—4 м гиперболической (а не параболической) формы, изготовленное из новых материалов: плавленого кварца или ситаллов — стеклокерамики с практически нулевым тепловым расширением, разработанной в СССР в 1960-х гг. Применение в конфигурации Кассегрена главного гиперболического зеркала позволяет значительно расширить поле хороших изображений; расчёт этой системы был выполнен в 1920-х гг. Телескопы третьего поколения стремятся устанавливать в местах, специально выбранных по спокойствию атмосферы. Подобных телескопов в настоящее время построено довольно много; считается, что это инструмент университетского класса.

6-метровый телескоп, вошедший в строй в 1975 г., хотя и относится ко второму поколению, но в его конструкцию было внесено одно кардинальное изменение. Телескопы предыдущих поколений устанавливались экваториально. Они сопровождали

наблюдаемую звезду, поворачиваясь со скоростью одного оборота в звёздные сутки вокруг оси, направленной на полюс мира. По второй координате объекта — склонению — телескоп устанавливался до начала фотографирования и вокруг этой оси больше не вращался.

Ещё до Второй мировой войны отечественный конструктор астрономических приборов Н. Г. Пономарёв обратил внимание на то, что труба телескопа и вся его конструкция будут значительно легче, а значит, и дешевле, если перейти от экваториальной к азимутальной установке, т. е. если телескоп будет вращаться вокруг трёх осей — оси азимута, оси высоты и оптической оси (вокруг неё достаточно вращать только кассету с фотопластинкой). Эта идея была осуществлена в 6-метровом телескопе, получившем название БТА (Большой телескоп алыт-азимутальный). Он вустановлен в астрофизической обсерватории на Северном Кавказе, вблизи станицы Зеленчукской.

Азимутальная монтировка используется во всех без исключения теле-



▲
6-метровый телескоп CAO
(Россия).

►
Блок из четырёх 8-метровых
телескопов, созданный
на Европейской южной
обсерватории Паранал (Чили).

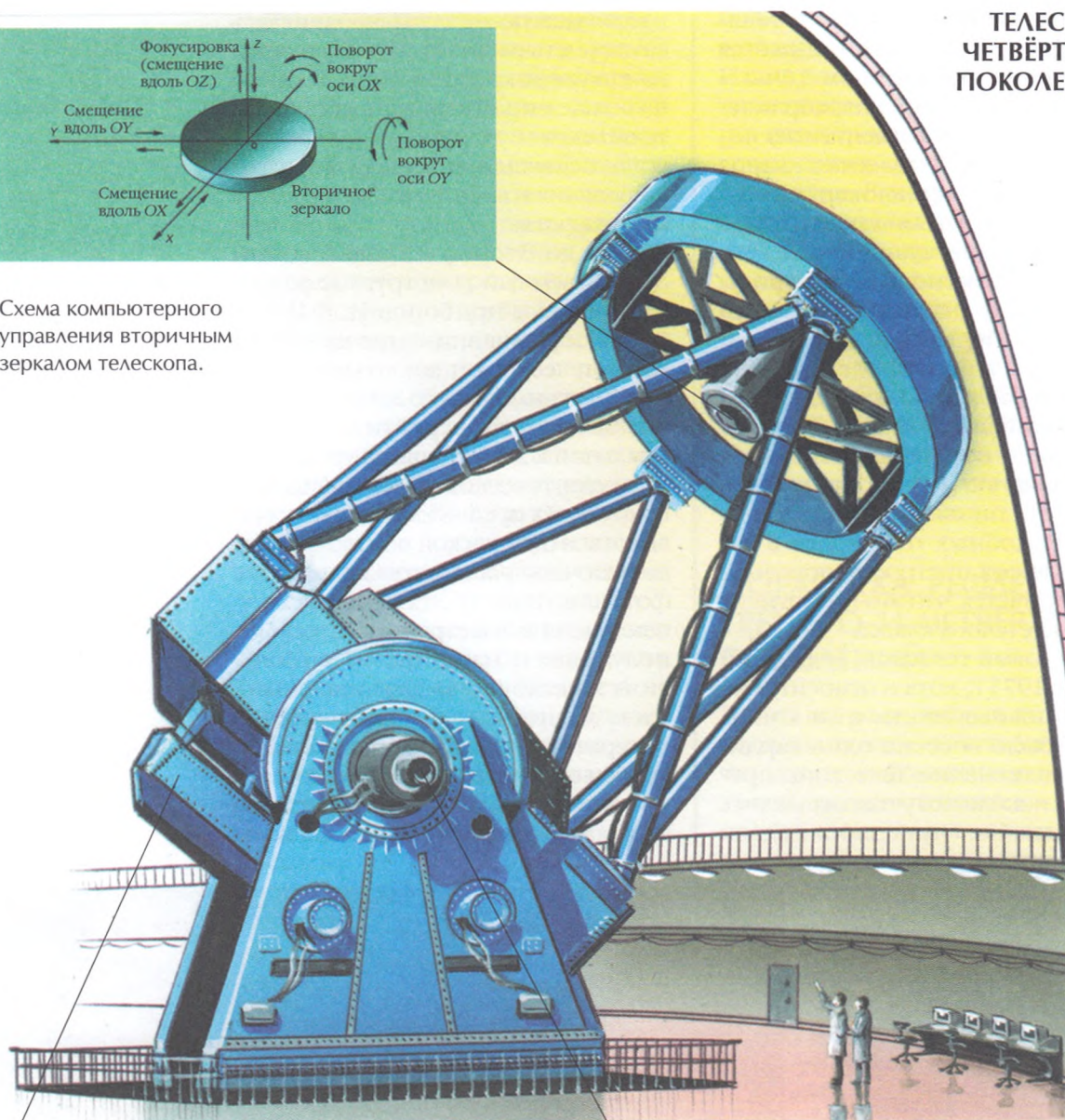




ТЕЛЕСКОП ЧЕТВЁРТОГО ПОКОЛЕНИЯ



Схема компьютерного управления вторичным зеркалом телескопа.



Управление формой главного зеркала.



Схема анализатора аберраций.



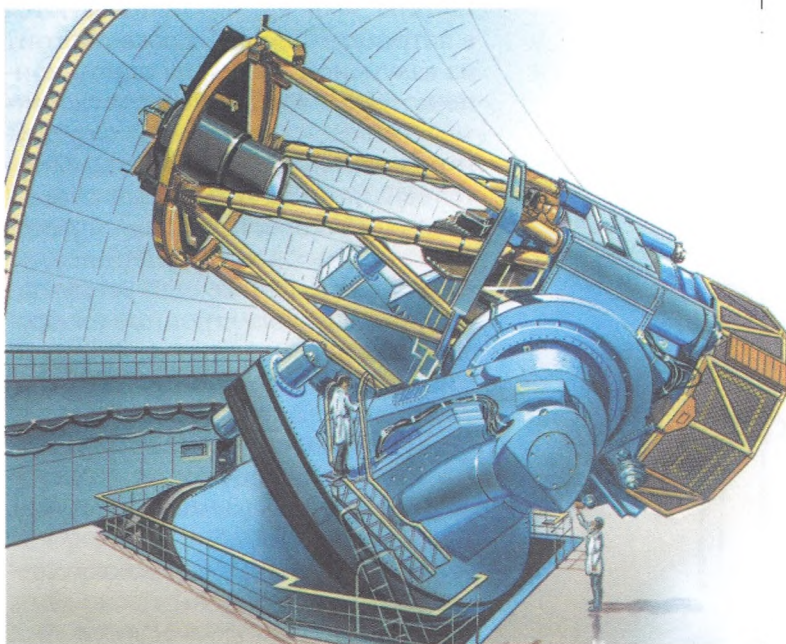
скопах четвёртого поколения. Кроме этого новшества для них характерно исключительно тонкое зеркало, форма которого подстраивается с помощью компьютера после автоматического анализа оптической системы по изображению звезды. Уже построено около 20 инструментов такого типа диаметром более 8 м. Трудно даже представить, какие новые открытия они принесут астрономии.

ПРИЁМНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ИЗОБРАЖЕНИЯ

Какую бы сложную систему из телескопа, светофильтров, интерферометров и спектрографов ни соорудили астрономы, на её выходе неизбежно находится приёмник излучения или изображения. *Приёмник изображения* регистрирует изображение источника. *Приёмник излучения* регистрирует только интенсивность излучения, ничего не сообщая о том, каковы форма и размер объекта, который его освещает.

Первым приёмником изображения в астрономии был невооружённый человеческий глаз. Вторым стала фотопластинка. Для нужд астрономов были разработаны фотопластинки, чувствительные в самых разных областях спектра, вплоть до инфракрасной, и, что самое главное, хорошо работающие при наблюдении слабых объектов. Астрономическая фотопластинка — исключительно ёмкий, дешёвый и долговечный носитель информации; многие снимки хранятся в стеклянных библиотеках обсерваторий более 100 лет. Самая большая фотопластинка применяется на одном из телескопов третьего поколения: её размер 53×53 см!

В начале 1930-х гг. ленинградский физик Леонид Кубецкий изобрёл устройство, названное впоследствии



фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Свет от слабого источника падает на нанесённый внутри вакуумной колбы светочувствительный слой и выбивает из него электроны, которые ускоряются электрическим полем и попадают на пластинки, умножающие их число. Один электрон выбивает три — пять электронов, которые, в свою очередь, размножаются на следующей пластинке и т. д. Пластинок таких около десяти, так что усиление получается огромное. Фотоумножители производятся промышленным способом и широко применяются в ядерной физике, химии, биологии и астрономии. Работа по исследованию источников звёздной энергии была выполнена в значительной степени с помощью ФЭУ — этого простого, точного и стабильного прибора.

Почти одновременно с фотоумножителем в разных странах изобретатели независимо друг от друга создали *электронно-оптический преобразователь* (ЭОП). Он применяется в приборах ночного видения, а специально разработанные высококачественные приборы это-

Современный рефлектор с диаметром зеркала 3,5 м.



го типа эффективно используются в астрономии. ЭОП также состоит из вакуумной колбы, на одном конце которой имеется светочувствительный слой (фотокатод), а на другом — светящийся экран, подобный телевизионному. Выбитый светом электрон ускоряется и фокусируется на светящемся под его действием экране. В современные ЭОП вставляют усиливающую электронное изображение пластинку, составленную из множества микроскопических фотомножителей.

Значительное распространение в астрономии в последние годы получили так называемые *приборы с зарядовой связью* (ПЗС), уже завоевавшие себе место в передающих телекамерах и переносных видеокамерах. Кванты света здесь освобождают заряды, которые, не покидая специ-

ально обработанной пластинки из кристаллического кремния, скапливаются под действием приложенных напряжений в определённых её местах — элементах изображения. Манипулируя этими напряжениями, можно двигать накопленные заряды таким образом, чтобы направить их последовательно по одному в обрабатывающий комплекс. Изображения воспроизводятся и обрабатываются при помощи компьютера.

Системы ПЗС очень чувствительны и позволяют измерять свет с высокой точностью. Приборы такого рода эффективно используются в современной астрономии. Их чувствительность близка к абсолютному пределу, поставленному природой; хорошие ПЗС могут регистрировать «поштучно» большую часть падающих на них квантов света.

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕСКОПА

Многие считают, что самая главная характеристика телескопа — его увеличение: чем оно больше, тем больше в телескоп можно увидеть. Это не совсем так: ценность инструмента определяется в первую очередь размером его объектива. Важнее всего собрать как можно больше света от изучаемого небесного объекта.

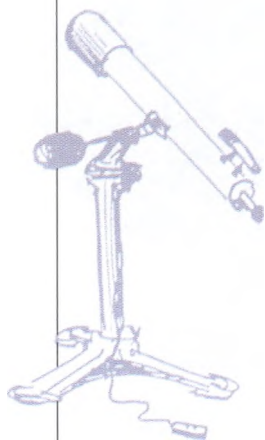
Все предметы излучают или отражают свет. Часть его попадает на зрачок глаза, проходит внутрь и вызывает ощущение света. Если света мало, предмет виден плохо или не виден вообще. Если каким-либо образом увеличить количество света, попадающего в глаз, видимость можно улучшить.

Диаметр у объектива телескопа гораздо больше, чем у зрачка, поэтому он собирает намного больше света. Это позволяет регистрировать очень слабые звёзды и другие свети-

ла — в 100 млн раз слабее, чем видимые невооружённым глазом.

При наблюдении небесных тел невооружённым глазом существует и другая трудность. Посмотрев на Луну, мы видим на её поверхности тёмные пятна. Сказать что-либо об их природе по внешнему виду довольно трудно, хочется разглядеть более мелкие детали. Однако простому глазу это недоступно, несмотря на достаточное количество света. Понятно, что, если бы видимый размер Луны был гораздо больше, мы смогли бы рассмотреть её подробнее. Пользуясь научной терминологией, мы скажем: угол, под которым видна Луна, слишком мал. Самый простой способ увеличить угол, под которым виден предмет, — это приблизиться к нему.

Итак, телескоп нужен для того, чтобы, во-первых, увеличить количество света, приходящего от небес-





ного тела, а во-вторых, чтобы дать возможность изучить мелкие детали наблюдаемого объекта. Способность телескопа показывать или регистрировать с помощью приборов слабые (т. е. тусклые) звёзды называется *проницающей силой*, а способность различать мелкие детали — *разрешающей силой*. Рассмотрим, от чего зависят эти характеристики телескопа.

Казалось бы, проницающая сила должна быть пропорциональна площади объектива: чем больше площадь, тем больше прибор собирает света и тем более слабые объекты видны. На самом деле возможность фиксировать слабый световой сигнал зависит от уровня фона, на котором он проявляется. По этой причине, например, звёзды не видны днём, хотя и излучают столько же света, что и ночью. Яркий фон дневного неба «забивает» их свет. Световые помехи, хотя и небольшие, имеются и ночью. Поэтому реальная проницающая сила телескопа ниже теоретической. При наличии фона (помех) она растёт пропорционально всего лишь диаметру (а не площади), что уменьшает выгоду от увеличения диаметра объектива.

Изображение звезды, построенное телескопом, имеет определённый размер. Если расстояние между изображениями двух звёзд меньше, чем их размер, они сольются и увидеть их раздельно будет невозможно. Разрешающая способность определяется тем, насколько малое изображение светящейся точки строит объектив телескопа. Таким образом, показателем качества объектива является размер изображения светящейся точки: чем он меньше, тем лучше. Астрономы характеризуют размер изображения величиной угла, под которым оно видно из центра объектива.

Можно теоретически оценить минимальный размер изображения светящейся точки, которое строит объектив. Выраженный в секундах дуги, он равен

$$\alpha = \frac{206265 \cdot \lambda}{D},$$

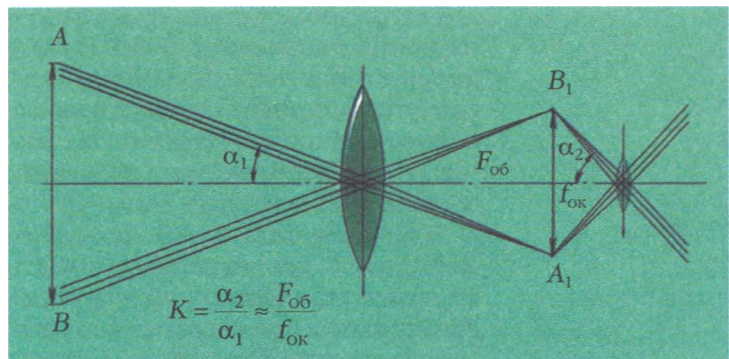
где λ — длина волны света, D — диаметр объектива. Эта величина и служит мерой разрешающей способности телескопа. Длина волны света, к которому наиболее чувствителен глаз, — 555 нм. Подставив в формулу это число и диаметр, равный, например, 13 см, получим разрешение около 0,9". То есть, если наблюдать при помощи телескопа диаметром 13 см две звезды одинаковой яркости, разделённые на небе расстоянием 0,9", можно надеяться увидеть, что это две звезды, а не одна.

Кроме проницающей и разрешающей силы есть и другие важные характеристики телескопа. Расскажем о фокусном расстоянии, увеличении, поле зрения и светосиле телескопа.

Телескоп состоит из объектива и окуляра. Свет от звёзд, расположенных очень далеко от объектива, проходит через него и собирается в фокальной плоскости. Расстояние от объектива до этой плоскости называется *фокусным расстоянием* объектива. Далее свет попадает в окуляр и затем в глаз наблюдателя.

Угловой размер изображения, видимого в телескоп, больше углового размера объекта на небе. Отношение этих углов называется *увеличением телескопа*. Оно равно F/f , где F — фокусное расстояние объектива, а f — фокусное расстояние окуляра.

Увеличение
телескопа.





Окуляр использовать не обязательно. Можно поставить в фокусе приёмник света, например фотопластинку. И в этом случае, чем больше фокусное расстояние объектива, тем крупнее будет изображение. Взяв два объектива с одинаковыми диаметрами, но разными фокусными расстояниями, мы получим два изображения небесного тела разного размера. Но количество света, попавшего в каждое из них, одинаково, так что освещённость большего изображения окажется меньше.

Если мы хотим, увеличивая размер изображения, сохранить его освещённость, придётся одновременно с увеличением фокусного расстояния объектива увеличивать и его диаметр. Отношение D/F (т. е. диаметра к фокусному расстоянию) называют относительным отверстием или *светосилой объектива*. Если светосилы двух объективов одинаковы, то одинаковы и освещённости изображений небесных тел.

При конструировании телескопа его светосилу рассчитывают, исходя

из тех задач, для которых этот телескоп строится. Телескопы с большой светосилой нужны, например, для изучения слабосветящихся туманностей. Наибольшая светосила существующих телескопов равна приблизительно $1/2$.

Наконец, очень важной характеристикой телескопа является его поле зрения. Одна фотография на телескопе с большим полем зрения показывает много небесных тел. Но надо позаботиться о том, чтобы и в центре поля зрения, и на его краю изображения звёзд были резкими. Для этого приходится строить специальные телескопы, объектив которых состоит из линзы и зеркала. Такими телескопами являются телескопы Шмидта и Максутова. Они применяются для фотографирования неба. Размер поля зрения у этих инструментов $5-6^\circ$ при хорошем качестве изображений. У больших телескопов-рефлекторов поле не превышает, как правило, 1° . Для сравнения: диаметр Луны на небе около $0,5^\circ$.

ГДЕ НАХОДЯТСЯ И КУДА ДВИЖУТСЯ СВЕТИЛА

Изучение движений небесных тел долгое время оставалось главной задачей астрономии, поскольку не было средств для исследования их физической природы. Астрономы достигли больших успехов как в изучении движений светил, так и в выяснении их причин. Например, один из основных физических законов — закон всемирного тяготения — был открыт на основе данных о движениях планет.

Чтобы изучить движение небесного тела, надо, во-первых, указать его положение в какой-нибудь определённый момент и, во-вторых, установить, с какой скоростью и в каком

направлении оно движется. Но это ещё не всё. Любое движение относительно. Поэтому, говоря о положении и скорости небесного тела, мы должны назвать другое небесное тело, относительно которого это движение измеряется, точнее — указать систему координат. Часть астрономии, которая занимается установлением системы координат и разработкой методов определения положений и скоростей светил, называется *астрометрией*.

Положение небесного тела в пространстве астрономы характеризуют тремя числами. Это координаты на небесной сфере (например, прямое



восхождение и склонение) и расстояние до светила. Очень часто вместо расстояния указывают *параллакс* — угол, под которым виден с небесного тела средний радиус орбиты Земли. Поскольку радиус земной орбиты известен с высокой точностью, то, зная параллакс, всегда можно вычислить расстояние. Все три величины, определяющие положение светила, являются углами.

Чтобы указать величину и направление скорости светила, также необходимы три числа. Астрономы используют изменения прямого восхождения и склонения за единицу времени и скорость изменения расстояния. Скорость изменения небесных координат называется *собственным движением*, а скорость изменения расстояния — *лучевой скоростью*.

Лучевую скорость можно было бы определять, измерив параллакс в два разных момента. Но точность этого метода очень низка. К счастью, для измерения лучевой скорости можно воспользоваться спектрами небесных тел. Если звезда движется к нам, длины волн её излучения будут чуть короче, чем у неподвижного источника, а если от нас — то чуть длиннее. Это явление называется *эффектом Доплера*. Длины волн света, излучаемого неподвижными атомами, хорошо известны. Сравнивая измеренные длины волн в спектре звезды с длинами волн света от неподвижных атомов, можно вычислить скорость звезды по направлению к нам или от нас.

Теперь следует указать главные небесные тела, т. е. те, относительно которых будут определяться положения и скорости других тел. До последнего времени такими главными были специально выбранные 1535 звезд, координаты которых определяли с особенно высокой точностью. Астрономы называют эти звезды *фундаментальными*, а их список — *фундаментальным каталогом*. Это яркие,



Зеркальный секстант — инструмент, с помощью которого определяли положение светил на небесной сфере.

а значит, сравнительно близкие звёзды, которые, как все другие близкие звёзды, заметно изменяют своё взаимное расположение. Разумеется, фундаментальный каталог содержит не только координаты, но и собственные движения звёзд. Однако собственные движения тоже определены с некоторой погрешностью. Поэтому с течением времени положения звёзд, вычисленные по каталогу, становятся всё менее точными. Срок «полезной жизни» каталога — несколько десятилетий. После этого нужно составлять новый фундаментальный каталог, хотя и содержащий те же самые звёзды. Последний фундаментальный каталог, обозначаемый FK 5 («Пятый фундаментальный каталог»), составлен в 1988 г.

А что, если в качестве главных выбрать такие объекты, которые, находясь очень далеко от нас, практически не перемещались бы по небу? Самые далёкие из известных небесных тел — квазары. Они в миллионы раз дальше, чем любая из 1535 главных звёзд, поэтому их взаимное положение на небе практически не изменяется. Квазары очень



Астрометрический
спутник
«Гиппаркос».

слабые, и наблюдать их трудно. Зато они излучают не только видимый свет, но и радиоволны. С помощью радиотелескопов можно измерить взаимное расположение квазаров намного точнее, чем с помощью обычных телескопов.

Конечно, можно спросить, что толку от такой точности, если нас интересует движение звезды, не излучающей радиоволны? Оказывается, есть возможность связать положение квазаров со звёздами, используя их слабое видимое излучение. В настоящее время многие астрономы работают над тем, чтобы сделать эту связь как можно более точной.

А пока в качестве фундаментальных звёзд всё же удобнее использовать не квазары, а какие-нибудь достаточно яркие и легко наблюдаемые звёзды. Только желательно, чтобы их было не 1535, а много больше. Для решения этой задачи астрономы и инженеры Европейского космического агентства сконструировали и запустили специальный искусственный спутник Земли «Гиппаркос» (название HIPPARCOS образовано из первых букв английских слов, которые означают «спутник, собирающий параллаксы высокой точности»). Это название напоминает имя древнегреческого астронома Гиппарха, составившего первый дошедший до нас целиком список положений звёзд на небе.

Зачем понадобилось запускать сложный и дорогостоящий спутник? Дело в том, что наблюдения с Земли происходят сквозь атмосферу, которая никогда не бывает спокойной. Мы можем построить очень точные телескопы для измерения движений звёзд, но беспокойствие атмосферы сведёт на нет все наши старания. Наблюдения со спутника имеют и другие преимущества. Он находится в состоянии невесомости, так что объектив телескопа и другие его детали не изменяют своей формы под действием силы тяжести. Спутник движется вокруг Земли и может наблюдать звёзды как северного, так и южного полушарий неба. Наконец, наблюдения на спутнике не прерываются днём или в облачную погоду, как на Земле.

Спутник «Гиппаркос» работал с августа 1989 по март 1993 г. На нём был установлен телескоп, состоявший только из зеркал, так как применение линз внесло бы ошибки, вызванные разложением света в спектр при преломлении в линзе. Поле зрения было невелико, размером в две Луны на небе. Спутник выполнял, казалось бы, очень простые наблюдения: измерять



видимые взаимные расстояния (углы) между звёздами. Он медленно вращался, постепенно изменяя направление оси вращения. Благодаря этому всё небо было им осмотрено несколько раз. В течение пяти лет данные, полученные со спутника, обрабатывались с применением самых мощных вычислительных машин. В результате были определены координаты, собственные движения и параллаксы 118 218 звёзд; среди них почти все звёзды, которые ярче 9-й звёздной величины, а самые слабые имеют звёздную величину 12,4. Точность очень высока — около 0,001".

Есть и другие результаты работы спутника. Были измерены звёздные величины и цвета свыше миллиона звёзд. Открыто несколько тысяч двойных звёзд. К сожалению, спутник не мог определять лучевые скорости.

Наблюдая взаимное перемещение звёзд на небе, можно многое узнать не только об их движении, но и о движении Солнца. Как это понять? Когда человек идёт по лесу, ему кажется, что деревья впереди расходятся в стороны. Точно так же, если Солнце движется в каком-то направлении, нам будет казаться, что звёзды расходятся от этого направления. Такое расхождение звёзд на самом деле было обнаружено. Точка небесной сферы, в направлении которой движется наше светило относительно ближайших звёзд (она называется *апексом* Солнца), находится в созвездии Геркулеса. Скорость этого движения около 20 км/с. Интересно, что скорости и направления движения Солнца относительно звёзд разных спектральных классов несколько различаются.

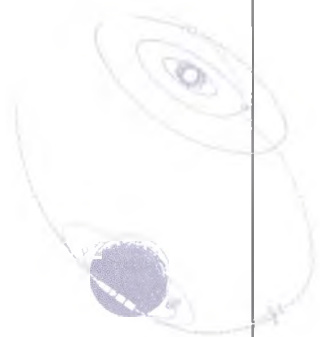
Результаты работы астрометристов используются для организации полётов межпланетных автоматических станций. Так, при подготовке космических аппаратов, направлен-

ных к комете Галлея, специально составлялись каталоги положений звёзд, относительно которых измерялось движение кометы. Если бы не были известны положения и движения фундаментальных и многих других звёзд, устроить встречу космического аппарата и кометы не удалось бы.

Астрометрия помогает «навести мосты» между результатами астрономических наблюдений в различных спектральных диапазонах. Предположим, мы наблюдаем какой-нибудь источник рентгеновского излучения и хотим узнать, не излучает ли он и в видимом свете. Есть только один способ узнать это: сравнить координаты источника, определённые в рентгеновском диапазоне, с координатами всех светил, наблюдаемых в видимом свете. Совпадение координат в пределах ошибок наблюдений говорит о том, что, может быть, видимый свет и рентгеновское излучение приходят от одного и того же небесного тела.

С древних времён одним из главных практических применений астрометрии была навигация. В наше время создана система спутниковой навигации. Чтобы узнать свои координаты на Земле, достаточно иметь приёмник спутниковой навигации. Его можно установить на самолёте, в автомобиле или носить с собой. С его помощью можно даже произвести разбивку участка для строительства дома. Навигационные спутники Земли, посылающие радиои излучение с нужными для навигации кодами, могут выполнять свою задачу только в том случае, когда их координаты относительно Земли известны. Для этого специальные службы должны периодически определять их координаты.

В заключение упомянем об одном явлении, связанном с отклонением света в гравитационных полях. Если свет от звезды или квазара проходит вблизи массивного тела,





наблюдателю будет казаться, что меняются и яркость, и положение светила, оно может как бы шевелиться на небе. Точно не известно, мимо каких тел проходит свет и каковы их массы, поэтому предсказать и учесть это «шевеление» невозможно, что несколько подрывает авторитет квазаров как фундаментальных небесных

тел. Однако вычисления показывают, что такое «шевеление» мало. В то же время, если его удастся выявить, мы получим новый астрометрический способ обнаружения небесных тел, находящихся между нами и квазаром, которые никаким другим способом найти нельзя (см. статью «Гравитационные линзы»).

КОСМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ

Земную атмосферу называют иногда главным врагом астрономических наблюдений. Вносимые ею помехи существенны даже при наблюдениях в видимом диапазоне электромагнитного спектра: атмосфера размывает изображения космических объектов и затрудняет наблюдения слабых источников, которые сливаются со свечением ночного неба. Но ещё хуже обстоит дело с наблюдениями за пределами видимого диапазона: для этого излучения атмосфера зачастую мало прозрачна или даже совсем непрозрачна. Достичь земной поверхности не может значительная часть субмиллиметрового, инфракрасного и ультрафиолетового излучения, а также рентгеновские и гамма-лучи. Чтобы изучать Вселенную в этих диапазонах, необходимо выносить наблюдательные приборы в космос. Ещё недавно внеатмосферная астрономия была уделом мечтателей. Теперь же она превратилась в быстро развивающуюся отрасль науки. Результаты, полученные на космических телескопах, перевернули многие наши представления о Вселенной.

Современная космическая обсерватория — это уникальный комплекс приборов, для разработки и эксплуатации которого требуются многолетние усилия, чаще всего нескольких стран. Успешная работа такой обсерватории опирается на знания самых

разных специалистов. Космические инженеры готовят телескоп к запуску, выводят его на орбиту, следят за обеспечением энергией и нормальным функционированием всех приборов. При этом приходится решать задачи, которые не возникают при работе на поверхности Земли, начиная со стабилизации инструмента, который лишён какой-либо опоры, и заканчивая проблемой передачи на Землю гигантского объёма информации. Астрономы отбирают важные наблюдательные проблемы, составляют программу наблюдений, следят за получением информации и организуют обработку результатов.

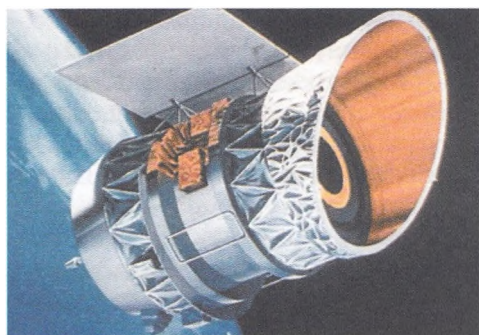
ИНФРАКРАСНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ

У наблюдений в инфракрасном (ИК) диапазоне есть специфика, отсутствующая при наблюдениях в других диапазонах, — телескоп сам является источником инфракрасного излучения и потому вносит помехи в собственные наблюдения! Поэтому для проведения ИК-наблюдений приходится выводить на орбиту значительный груз: не только сам телескоп, устройства для обработки и передачи информации, но и запас охладителя, который должен уберечь ИК-приёмник от инфракрасных по-



мех. Поскольку охладитель непрерывно испаряется, время работы космической ИК-обсерватории весьма ограничено.

Первый инфракрасный телескоп был запущен в космос в январе 1983 г. в рамках совместного американо-европейского проекта IRAS (InfraRed Astronomical Satellite). Телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 57 см был оборудован детекторами для регистрации ИК-излучения с длинами волн 12, 25, 60 и 100 мкм.



Чтобы уменьшить влияние фонового излучения, инструмент охлаждался жидким гелием, имевшим температуру всего 2,4 К. Спутник проработал 10 месяцев и отключился после исчерпания запасов гелия.

Главной задачей телескопа IRAS был поиск источников длинноволнового ИК-излучения и составление карты небосвода в инфракрасном диапазоне. При этом для обнаружения переменных объектов полный обзор неба проводился шесть раз. Это был поистине прорыв в инфракрасную Вселенную — при помощи этого телескопа было обнаружено около 250 тыс. источников! В частности, впервые были открыты тысячи галактик с мощным ИК-излучением, в том числе такие, которые в ИК-диапазоне излучают больше энергии, чем во всех остальных областях спектра. IRAS также позволил обнаружить множество молодых звёзд и протозвёздных объектов.

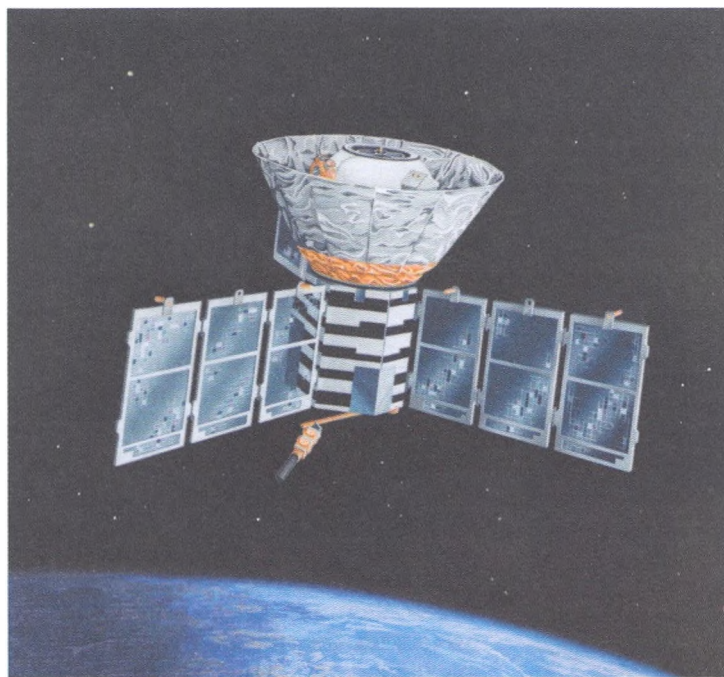
С его помощью были открыты пылевые оболочки и вокруг многих известных звёзд, в частности пылевой диск вокруг Веги, одной из самых ярких звёзд неба.

Эстафету IRAS приняла космическая обсерватория ISO (Infrared Space Observatory), работавшая в диапазоне от 2,5 до 240 мкм. В работе над ISO принимали участие специалисты из стран Европы, Японии и США. Запуск обсерватории состоялся в ноябре 1995 г. В комплект научной аппаратуры помимо 60-сантиметрового телескопа входили камера высокого разрешения, фотополяриметр и два спектрометра. Запас гелия на ISO был почти в пять раз больше, чем на IRAS, и потому обсерватория проработала почти 2,5 года, до апреля 1998 г. За время работы на ISO было сделано около 30 тыс. наблюдений.

В начале XXI в. в космосе работало сразу несколько крупных ИК-обсерваторий. Главная из них, безусловно, — космический телескоп «Спитцер» (НАСА, 2003 г.),

Инфракрасный спутник IRAS.

Космическая обсерватория COBE (НАСА).





оснащённый 85-сантиметровым зеркалом. Плановое время жизни обсерватории составляло 2,5 года, однако реально запасы охладителя иссякли только в мае 2009 г., что позволило получить колоссальный объём информации. Чтобы как можно дальше отодвинуть телескоп от земного тепла, его поместили не на геоцентрическую, а на гелиоцентрическую орбиту радиусом около 1 а. е.

В 2009 г. Европейское космическое агентство (ЕКА) запустило телескоп «Гершель» инфракрасного и субмиллиметрового диапазонов, разместив его на расстоянии 1,5 млн км от Земли в противосолнечном направлении. «Гершель» оборудован гигантским зеркалом диаметром 3,5 м — на момент запуска это было самое крупное из когда-либо существовавших космических зеркал.

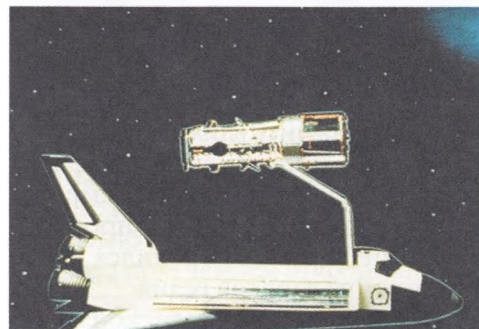
КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП «ХАББЛ»

Венцом в созвездии космических обсерваторий, бесспорно, является космический телескоп «Хаббл» (совместный проект НАСА и ЕКА), выведенный на орбиту 1990 г. с борта американского корабля многоцелевого использования «Дискавери». Телескоп рассчитан на работу в видимой области спектра и в прилегающих к ней областях ультрафиолетового и инфракрасного излучения.

Отличительная особенность «Хаббла» — размещение на относительно низкой околоземной орбите, которое позволяет время от времени отправлять к нему обслуживающие экспедиции. И это размещение оказалось очень удачным — первая экспедиция буквально спасла проект от провала. Вскоре после запуска выяснилось, что главное 2,4-метровое зеркало телескопа обладает сферической аберрацией, значительно ухудшающей характеристики этого

уникального инструмента. И вот 2 декабря 1993 г. к телескопу отправился челнок «Индевор». В ходе недельной работы астронавты заменили большую часть электронных блоков, исправили погнутую солнечную батарею и — самое важное — установили блок корректирующей оптики, устранивший погрешности зеркала. После этого «сервисные» полёты осуществлялись ещё несколько раз, последний — в 2009 г. Астронавты устанавливали новую, заменяли и ремонтировали старую аппаратуру телескопа, что позволило поддерживать высокую эффективность его работы.

«Хаббл» оказался невероятно дорогостоящим, но и очень успешным астрономическим инструментом. Упомянем лишь некоторые из его достижений.

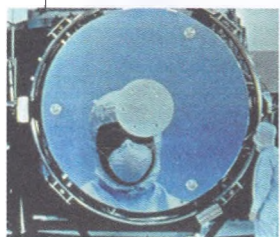


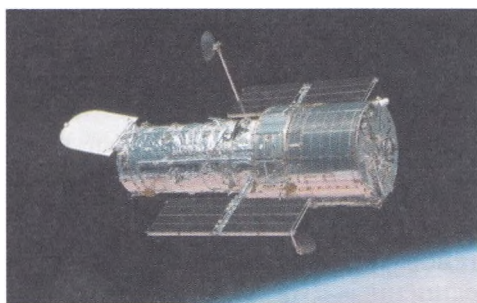
Получены чёткие изображения планет Солнечной системы, которые ранее можно было сделать только с помощью межпланетных станций. Чрезвычайно ценный материал получен по яркой комете Хейла — Боппа: астрономы смогли в подробностях проследить за тем, как у кометы по мере приближения к Солнцу формируется хвост, как происходят взрывоподобные выбросы пыли с поверхности её ядра.

На снимках «Хаббла» учёные увидели мельчайшие детали межзвёздных газовых туманностей, впервые обнаружили протопланетные диски, окружающие молодые звёзды,

► Доставка телескопа «Хаббл» в космос.

Зеркало телескопа «Хаббл».





открыли новые типы планетарных туманностей со сложной структурой газовых волокон.

Астрономам удалось заглянуть в самые плотные центральные части шаровых звёздных скоплений и галактик, получить веские доказательства существования в ядрах многих галактик невидимых объектов с массой в сотни миллионов и миллиарды масс Солнца (кандидатов в чёрные дыры).

В далёких галактиках на расстояниях в миллиарды световых лет от нас при помощи «Хаббла» удалось найти пульсирующие звёзды — цефеиды, а также обнаружить вспышки сверхновых звёзд и по ним оценить расстояние до этих звёздных систем. Эти наблюдения позволили уточнить шкалу межгалактических расстояний и характер расширения Вселенной сейчас и в прошлом. Телескоп позволил также увидеть галактики, внутри которых находятся квазары; при наземных наблюдениях яркий свет квазара мешает различить слабое свечение окружающей его звёздной системы. Впервые получены и изображения галактик на месте источников таинственных гамма-всплесков, благодаря чему доказана их внегалактическая природа.

В рамках специально разработанных программ «Глубокое поле», нацеленных на исследование особенно далёких галактик, «Хаббл» получил изображения предельно слабых объектов — до 30-й звёздной величины. Большинство из них являются галак-

тиками, которые (из-за конечной скорости света) мы наблюдаем в эпоху их ранней молодости. Их сравнение с современными (относительно близкими) галактиками значительно продвинуло понимание того, как миллиарды лет назад формировались звёздные системы и насколько они отличаются от современных.

На смену телескопу «Хаббл» готовится гигантский телескоп «Джеймс Уэбб» (НАСА) с объективом диаметром 6,5 м, состоящим из отдельных шестиугольных сегментов.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ

Ультрафиолетовое (УФ) излучение с длинами волн менее 300 нм, невидимое с Земли, несёт в себе информацию об очень горячих телах, прежде всего о молодых массивных звёздах. Поэтому по УФ-снимкам нашей и других галактик можно узнать как число молодых звёзд, так и их распределение в пространстве. На УФ-диапазон также приходится многие спектральные линии межзвёздного газа.

Впервые ультрафиолетовый телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 80 см и специальным спектрометром был выведен в космос на совместном американо-европейском спутнике «Коперник», запущенном в августе 1972 г. Наблюдения на нём проводились до 1981 г. Но более знаменит другой ультрафиолетовый спутник — IUE (International Ultraviolet Explorer), который, без сомнения, можно считать одним из самых удачных космических проектов. Он вышел на орбиту в январе 1978 г. и проработал почти 20 лет! На нём были установлены зеркальный телескоп (диаметр зеркала 45 см) и два спектрографа. На спутнике IUE проводились наблюдения самых разнообразных объектов: от комет и планет до удалённых галак-

◀ Космический телескоп «Хаббл» над Землёй.

Миссия обслуживания телескопа «Хаббл».



Ультрафиолетовая обсерватория IUE.



тик. Об этих наблюдениях написано несколько книг, опубликовано около 3 тыс. статей в научных журналах.

Из современных аппаратов, пожалуй, наиболее впечатляющая работа полуметрового телескопа GALEX (Galaxy Evolution Explorer), запущенного в 2003 г. Его цель — исследование процесса звездообразования в галактиках и изменений, которые произошли в них за последние 10 млрд лет. GALEX смог получить изображения сотен тысяч близких и далёких галактик. На основе его наблюдений составлено несколько обзоров неба в УФ-лучах.

Отечественный рекорд длительности работы космической обсерватории на орбите также принадлежит ультрафиолетовому телескопу. Спутник «Астрон» покинул Землю в марте 1983 г., а прекратил наблюдения лишь в июне 1989 г., намного превысив ожидаемое время работы. На УФ-обсерватории «Астрон» с помощью телескопа диаметром 80 см проводились исследования звёзд, в том числе с необычным химическим составом, новых и сверхновых звёзд, в частности знаменитой сверхновой 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке, других галактик, газовых туманностей и комет.

В настоящее время в России ведутся работы по международному проекту «Спектр-УФ», предусматривающему запуск УФ-телескопа с зеркалом диаметром 170 см для широкого круга научных задач.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ

Рентгеновские лучи доносят до нас информацию о мощных космических процессах, связанных с экстремальными физическими условиями. Высокая энергия рентгеновских и гамма-квантов позволяет регистрировать их «поштучно», с точным

указанием времени регистрации. Рентгеновские телескопы устанавливались на многих орбитальных станциях и межпланетных космических кораблях. Всего в околоземном пространстве побывало около сотни таких инструментов.

Наблюдения космического рентгеновского излучения начались в Соединённых Штатах Америки сразу же после окончания Второй мировой войны. В то время для регистрации рентгеновских квантов использовались обыкновенные счётчики Гейгера, установленные на трофейных немецких ракетах «Фау-2». В 1949 г. одна из этих ракет впервые уловила рентгеновское излучение Солнца, а в 1962 г. был обнаружен первый источник за пределами Солнечной системы. Точность приборов на ракетах была невысока, но учёных тогда интересовали не столько характеристики космических рентгеновских источников, сколько сам факт их существования. Устанавливать более сложное оборудование было, конечно, невыгодно, так как чаще всего по окончании короткого полёта оно разрушалось вместе с ракетой.

В полноправную отрасль науки о Вселенной рентгеновская астрономия превратилась только в 1970 г., когда на околоземную орбиту вышла космическая обсерватория Uhuru («Ухуру»; США). С этого времени точность измерения потоков рентгеновского излучения приблизилась к точности наблюдений в других диапазонах спектра.

Телескоп зарегистрировал много рентгеновских источников различной природы. Некоторые его открытия стали основополагающими. Например, он обнаружил жёсткое (коротковолновое) излучение от двойной звезды Геркулес X-1. Это позволило предположить, что, по крайней мере, часть такого излучения вызвана явлениями перетекания вещества со звезды на звезду

Рентгеновская обсерватория «Эйнштейн» на лабораторном столе.



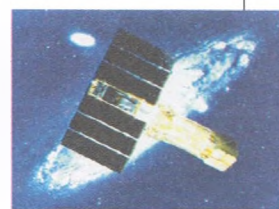


в тесных двойных системах. Кроме того, спутник зарегистрировал рентгеновское излучение из межгалактического пространства в скоплениях галактик. Это доказало, что галактики погружены в разреженный и очень горячий газ. Наконец, один из невидимых источников, обнаруженных Uhuru, — Лебедь X-1 — оказался связанным с объектом, который имеет слишком большую массу, чтобы быть нейтронной звездой. Это позволило считать его первым кандидатом в чёрные дыры.

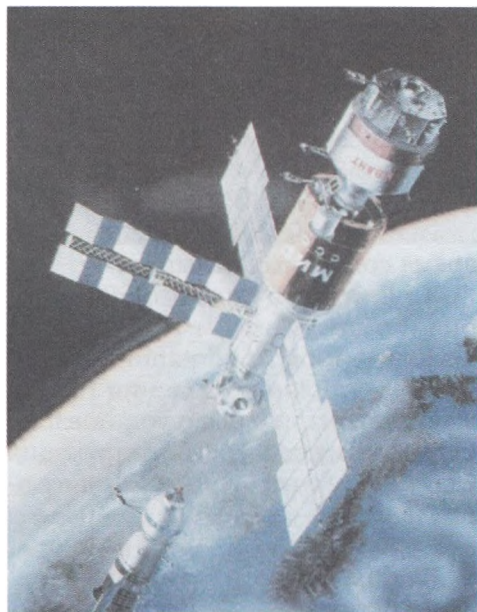
По мере совершенствования техники в космос поднимались всё более сложные и разнообразные приборы. В 1978 г. ракета-носитель «Атлас» подняла в космическое пространство рентгеновскую обсерваторию «Эйнштейн», чувствительность которой превышала чувствительность телескопа Uhuru в 10 тыс. раз. Это был первый телескоп, позволявший с помощью специальных зеркал косого падения получать рентгеновские изображения источников. Наблю-

дения этой обсерватории показали, что почти каждая звезда благодаря горячей газовой короне является источником рентгеновского излучения, подобного солнечному. Впервые в рентгеновском диапазоне наблюдались остатки вспышек сверхновых — сброшенные звёздами расширяющиеся оболочки, заполненные горячим газом. Оказалось, что рентгеновское излучение во Вселенной — явление такое же обычное, как и излучение оптического диапазона.

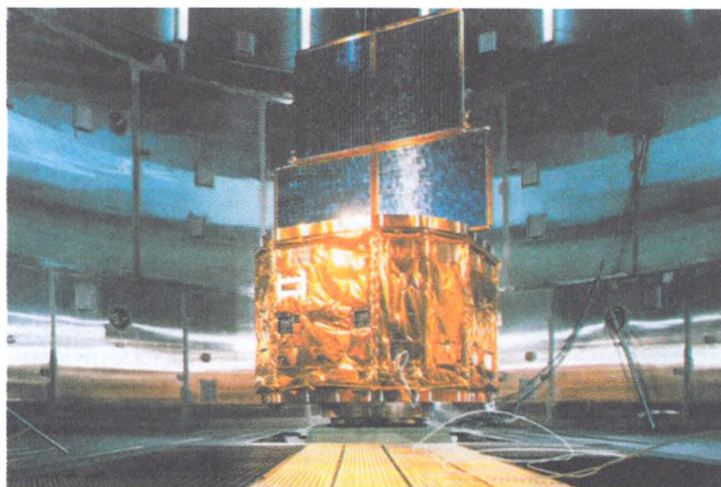
В 1980—1990-х гг. на японских, советских, европейских и американских спутниках стартовали всё более совершенные рентгеновские телескопы. В частности, в 1989 г. был выведен в космос спутник «Гранат» с телескопом «Сигма» жёсткого рентгеновского диапазона. Всего на спутнике «Гранат» работало шесть научных приборов, с помощью которых были построены рентгеновские карты центра Галактики, а также открыто несколько кандидатов в чёрные дыры.



Японская рентгеновская обсерватория ASCA.



Рентгеновская обсерватория «Квант» состыковывается со станцией «Мир» и грузовым кораблём «Прогресс».



▲ Рентгеновская обсерватория EXOSAT.



► Советская рентгеновская обсерватория «Гранат».



Космическая рентгеновская обсерватория «Чандра» (НАСА).



ГАММА-ОБСЕРВАТОРИИ

Гамма-излучение тесно соседствует с рентгеновским, поэтому для его регистрации используют похожие методы. Часто на космических телескопах исследуют одновременно и рентгеновские, и гамма-источники. Однако процессы, порождающие гамма-излучение, могут существенно отличаться от тех, что ведут к возникновению рентгеновских квантов. Гамма-лучи доносят до нас информацию о процессах, происходящих внутри атомных ядер, и о превращениях элементарных частиц в космосе.

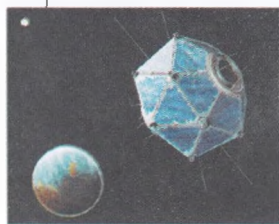
Первые наблюдения космических гамма-источников были засекречены. В конце 1960-х — начале 1970-х гг. США запустили четыре спутника серии «Вела». Аппаратура этих спутников разрабатывалась для обнаружения всплесков жёсткого рентгеновского и гамма-излуче-

ния, возникающих во время ядерных взрывов. Однако оказалось, что большинство из зарегистрированных всплесков не связаны с военными испытаниями, а их источники расположены не на Земле, а в космосе. Так было открыто одно из самых загадочных явлений во Вселенной — *гамма-всплески*, представляющие собой однократные мощные вспышки жёсткого излучения. Всего за десять лет работы спутники «Вела» обнаружили 73 вспышки. Наблюдения с других космических аппаратов позволили многократно увеличить их число, но только в 1997 г. впервые удалось сопоставить гамма-всплески с далёкими галактиками (с помощью итало-нидерландского спутника «Беппо-Сакс»). Позднее выяснилось, что значительная доля всплесков связана со взрывами сверхновых звёзд.

Гамма-телескопы устанавливались также на многих межпланетных кораблях. Успешные наблюдения 85 гамма-всплесков были проведены на советских станциях «Венера-11» и «Венера-12». Оборудование для регистрации жёсткого излучения использовалось на советских зондах «Фобос-1» и «Фобос-2» и американском аппарате «Улисс», предназначенном для изучения полярных областей Солнца. При помощи этой аппаратуры изучалось гамма-излучение, возникающее во время солнечных вспышек.

Крупнейшая гамма-обсерватория «Комптон» весом 17 т работала в околоземном пространстве с 1991 по 2000 г. Для наблюдения гамма-всплесков на ней было установлено четыре телескопа, регистрирующих излучение в очень широком диапазоне энергий — от 30 тыс. до 30 млрд электронвольт!

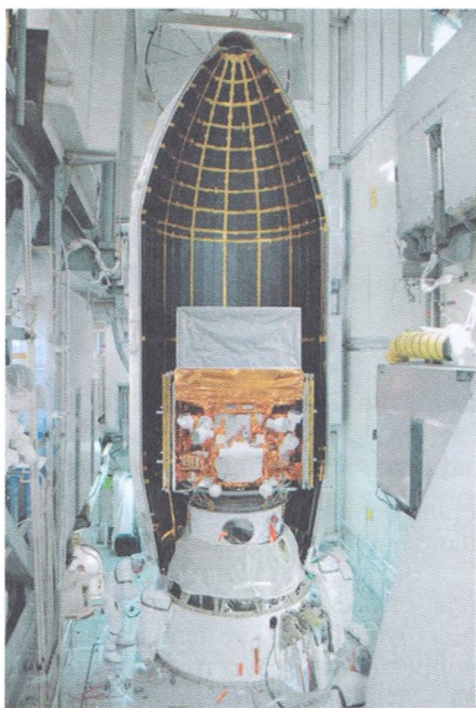
Несколько крупных рентгеновских телескопов работают и в настоящее время. В 2008 г. был запущен уникальный гамма-телескоп «Ферми» с очень большим полем зрения (20 %



Спутник «Вела».

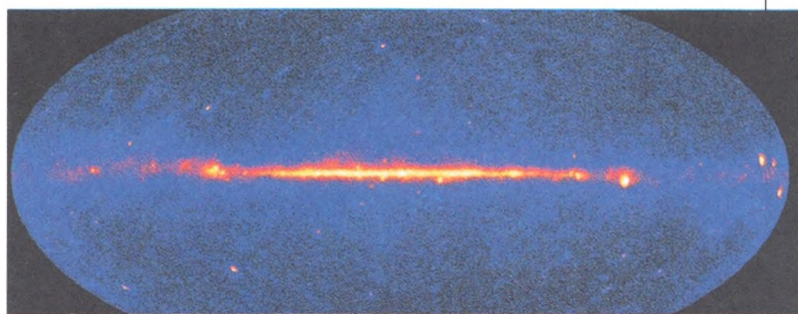


всего неба). Успешно работает и запущенная с космодрома Байконур в 2002 г. международная гамма-обсерватория «Интеграл». С её помощью, в частности, получена первая карта неба в линии, возникающей при аннигиляции электронов и позитронов (511 тыс. электронвольт). В проекте — запуск обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма», объединяющей несколько рентгеновских телескопов и детектор гамма-всплесков.



СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ

Некоторые космические обсерватории предназначены для решения определённой научной задачи. Так, в 1989 г. в космос был запущен специализированный астрометрический спутник «Гиппаркос». В ходе наблюдений он, в частности, позволил измерить координаты свыше 118 тыс. звёзд с точностью до тысячных долей



Полная картина неба в гамма-лучах по наблюдениям обсерватории «Ферми» (НАСА). Светлая полоса совпадает с Млечным Путём. Видны также отдельные точечные источники.

угловой секунды и определил положения и цветовые характеристики около миллиона звёзд. (Подробнее об этом можно прочесть в статье «Где находятся и куда движутся светила».)

Создаются обсерватории, цель которых — изучение солнечной атмосферы, солнечных вспышек, солнечного ветра, а также влияния Солнца на Землю. Из крупных солнечных обсерваторий отметим SOHO (ЕКА, НАСА, 1995 г.), «Хиноде» (Япония, 2006 г.), Обсерваторию солнечной динамики (НАСА, 2010 г.) и обсерваторию «Тетис» (Россия, 2009 г.), которая, к сожалению, проработала недолго.

Особое место в научных исследованиях занимают специализированные ИК-телескопы для исследований реликтового излучения, сохранившегося со времени Большого взрыва и имеющего температуру 2,7 К. Наиболее важную роль сыграли американские космические обсерватории COBE (Cosmic Background Explorer, 1989 г.) и WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, 2001 г.). С помощью WMAP впервые удалось с приемлемой точностью определить спектр угловых неоднородностей температуры реликтового излучения, доказав, что в целом этот спектр согласуется с моделью Большого взрыва. В 2009 г. в космос отправился ещё один телескоп для наблюдений «реликта» — «Планк» (ЕКА).

◀ Космический гамма-телескоп «Ферми» (НАСА) в лаборатории. На орбите работает с 2008 г.



Российско-германская обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма». Рассчитана на полный обзор неба и слежение за изменением яркости отдельных источников. Проект.



Несмотря на уже очень внушительный список достижений, потенциал космических обсерваторий по-прежнему огромен. Из наиболее важных перспективных проектов следует в первую очередь отметить астрометрические обсерватории (европейский проект «Гайя», российские проекты «Свеча» и «Озирис»), которым предстоит построить точную карту расположения звёзд в нашей Галактике — задача, до сих пор не решённая! Ещё одно важное направление будущих разработок — создание космических радиотелескопов, которые можно было бы объединять в интерферометрические системы с наземными инструментами, доводя тем самым угловое разрешение наблюдений до совершенно беспрецедентных значений. Это

необходимо, например, для исследования ближайших окрестностей чёрных дыр.

В проектах многих будущих космических телескопов предусматривается уже использование не одного аппарата, а нескольких независимых модулей, которые будут располагаться в пространстве на расстояниях от нескольких десятков метров до километров. Наконец, в более далёком будущем нас ожидает строительство настоящих обсерваторий в космосе, когда в рамках единого «созвездия» аппаратов будут работать телескопы различных диапазонов. Поскольку в настоящее время размеры космических инструментов ограничены размерами ракет-носителей, собирать большие космические обсерватории будущего придётся в космосе.

КОСМИЧЕСКИЕ ЭКСПЕДИЦИИ ПО СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

Писатели-фантасты, отправлявшие своих героев к другим мирам, даже не предполагали, как быстро реализуются эти мечты. От первых запусков маленьких ракет, поднявшихся на несколько десятков метров, до первого искусственного спутника Земли прошло всего 30 лет. В наши дни многочисленные космические аппараты фотографируют поверхности далёких планет и их спутников, проводят всевозможные исследования, передавая данные на Землю. Пройдёт ещё немного времени, и в космосе появятся обширные колонии.

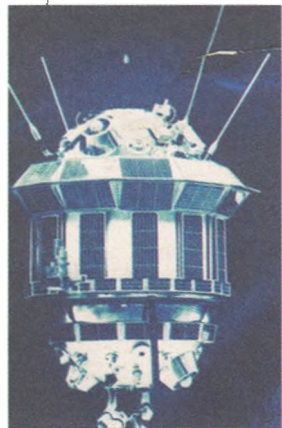
стала первым объектом, к которому направились космические аппараты.

Советские автоматические межпланетные станции первого поколения «Луна-1, -2, -3» не использовали ни коррекцию курса на траектории Земли — Луна, ни торможение при подлёте. Они совершали полёт напрямую. Стартовав с Земли 2 января 1959 г., станция «Луна-1» массой 361 кг впервые достигла второй космической скорости (11,19 км/с) и прошла на расстоянии около 6 тыс. километров от поверхности Луны.

«Луна-2» достигла лунной поверхности 14 сентября 1959 г. вблизи центрального меридиана в северном полушарии. Её приборы показали, что Луна практически не имеет собственного магнитного поля. А на борту станции «Луна-3» находилась фототелевизионная аппаратура, впервые

ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ

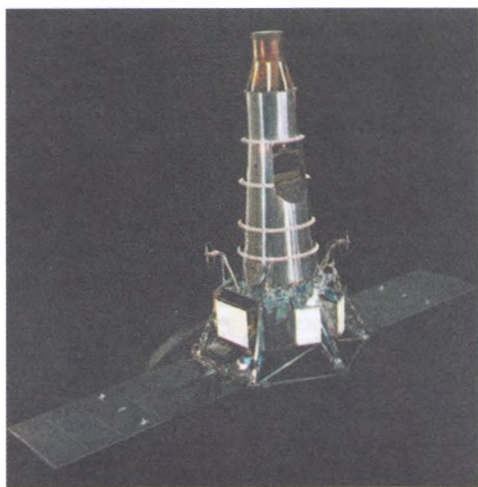
Вполне естественно, что Луна, как ближайшее к Земле небесное тело,



Автоматическая межпланетная станция «Луна-3».



передавшая на Землю снимки части видимого и почти 2/3 невидимого полушария. На них было большое количество дефектов, но, несмотря на это, учёным удалось выявить множество деталей на обратной стороне Луны. Открытые «Луной-3» кратеры получили названия: Циолковский, Курчатов, Джордано Бруно, Жюль Верн и др.

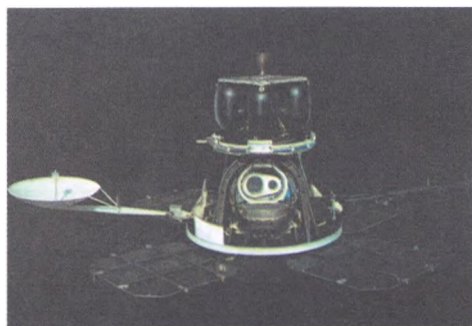


Крупномасштабное фотографирование отдельных участков поверхности видимого полушария выполнили в процессе падения на Луну американские космические аппараты «Рейнджер-7, -8, -9» в 1964 и 1965 гг. Советская станция «Зонд-3» завершила фотографирование невидимого полушария.

Первая мягкая посадка на лунную поверхность была осуществлена в феврале 1966 г. советской автоматической станцией «Луна-9». Телекамеры передали на Землю панорамы окружающего ландшафта с разрешением до нескольких миллиметров. В 1966 г. на орбиту вокруг Луны были выведены искусственные спутники «Луна-10, -11, -12». На них проводились исследования спектрального состава, инфракрасного и гамма-излучения лунной поверхности, регистрация метеорных частиц и др.

В том же году американский аппарат «Сервейер-1» совершил мягкую посадку на Луну и в течение шести недель передавал на Землю снимки поверхности. В конце декабря 1966 г. мягкую посадку выполнила станция «Луна-13», её выносные приборы исследовали свойства лунного грунта, а телевизионные камеры фотографировали окружающую местность.

Мягкую посадку в различных районах Луны осуществили американские космические аппараты «Сервейер-3, -5, -6, -7» (1967—1968 гг.), которые должны были исследовать лунную поверхность для подготовки посадок космических кораблей серии «Аполлон» с астронавтами. Пять американских искусственных спутников «Лунар Орбитер» в 1966—1967 гг. фотографировали Луну и изучали её гравитационное поле. Детальная съёмка поверхности в районе лунного экватора, выполненная этими спутниками, также нужна была для отбора будущих мест посадок кораблей «Аполлон».



Отработка элементов программы полёта на Луну проводилась сначала непилотируемыми кораблями серии «Аполлон», а затем и пилотируемыми («Аполлон-8, -9, -10»). Весил «Аполлон» 44 т и состоял из основного блока и лунной кабины, включавшей посадочную и взлётную ступени. Пилотируемые облёты Луны планировались и в нашей стране. Для отработки манёвров на орбите

◀ Космический аппарат «Рейнджер».



Космический аппарат «Сервейер».

Космический аппарат «Лунар Орбитер».



► Автоматическая станция «Луна-16».

Лунная экспедиция «Аполлона-11». Первые люди на поверхности инопланетного небесного тела.



использовались космические аппараты «Зонд-4, -5, -6, -7, -8». Однако от этих планов отказались после того, как такие облёты совершили американские астронавты.

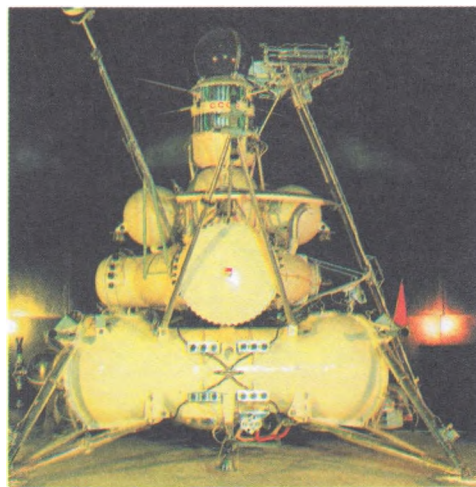
Место посадки лунной кабины космического корабля «Аполлон-11» было выбрано в Море Спокойствия, где уже побывали аппараты «Рейнджер-8» и «Сервейер-5». Астронавты Нил Армстронг и Эдвин Олдрин осуществили посадку 20 июля 1969 г. Они установили отражатель лазерного излучения, сейсмометр, сделали снимки, собрали 22 кг образцов лунного грунта. Все работы заняли у них 2 ч 30 мин. За это время астронавты удалялись от посадочного модуля на расстояние до 60 м. В основном блоке на орбите находился Майкл Коллинз, который также проводил научные исследования.

Астронавты «Аполлона-12», запущенного 14 ноября 1969 г., Чарлз Конрад и Алан Бин совершили посадку в районе Океана Бурь. В основном блоке корабля на орбите вокруг Луны оставался Ричард Гордон. Поскольку место посадки было выбрано рядом со станцией «Сервейер-3», в задачу астронавтов входило её обследование. Они не обнаружили никаких следов разрушения станции; только слой рыже-коричневой пыли покрывал её. На этот раз было собрано 34 кг образцов лунной породы.

Экипаж «Аполлона-13» не смог выполнить посадку на Луну из-за взрыва в двигательном отсеке основного блока. Совершив облёт Луны, астронавты вернулись на Землю через семь дней.

Советская автоматическая станция «Луна-16» в сентябре 1970 г. произвела мягкую посадку в Море Изобилия, где специальным грунтозаборным устройством была взята лунная порода весом 105 г и помещена в возвращаемый аппарат, который переправил её на Землю. В том же году станцией «Луна-17» впервые

был доставлен самоходный аппарат «Луноход-1», проделавший путь длиной 10,5 км и передававший на Землю множество снимков.



Экспедиция «Аполлона-14» проходила с 31 января по 9 февраля 1971 г. Астронавты Алан Шепард и Эдгар Митчелл провели на поверхности Луны 9 ч и собрали 44,5 кг пород. В августе 1971 г. у подножия лунных гор Апеннины высадился экипаж корабля «Аполлон-15». Впервые астронавты Дэвид Скотт и Джеймс Ирвин использовали для передвижения луноход, проделав на нём путь длиной 10 км, и провели многочисленные исследования. В апреле 1972 г. экипаж лунной кабины космического корабля «Аполлон-16» совершил посадку в материковом районе в окрестностях кратера Декарт. В декабре того же года была успешно выполнена последняя, шестая экспедиция на корабле «Аполлон-17».

Второй самоходный аппарат «Луноход-2», доставленный станцией «Луна-21» в январе 1973 г., продолжил исследования в довольно сложном районе Луны, являющемся переходным от моря к матерiku. Всего было пройдено 37 км. В 1974 г. аппарат «Луна-22» выполнял изучение рельефа и гравитационного поля с



орбиты искусственного спутника Луны. В том же году «Луна-23» удалось совершить посадку в районе Моря Кризисов. Исследования Луны советскими автоматическими станциями были завершены космическим аппаратом «Луна-24», выполнившим автоматическое бурение лунного грунта в Море Кризисов на глубину 2 м и доставившим на Землю 22 августа 1976 г. 170 г лунной породы.

После этого довольно долго к Луне не было запусков ни в нашей стране, ни в США. Интересно, что лишь 14 лет спустя, в марте 1990 г., Япония с помощью ракеты «Нисан» вывела на орбиту вокруг Луны автоматический аппарат «Мюзес-А» для дистанционного исследования лунной поверхности.

К аппаратам нового поколения, создающимся с использованием сверхлёгких материалов, относится станция «Клементина», запущенная в январе 1994 г. Помимо фотографирования поверхности Луны ею выполнены измерения высот рельефа, а также уточнены толщина лунной коры, модель гравитационного поля и некоторые другие параметры.

В 1998 г. американский космический аппарат «Лунар Проспектор» в течение года передавал на Землю данные о составе пород лунной поверхности. По результатам исследований этим аппаратом было подтверждено, что в районе полюсов Луны, внутри кратеров, постоянно находящихся в тени, находится вода-



ной лёд. 31 июля 1998 г. «Лунар Проспектор» по команде с Земли врезался в один из глубоких кратеров вблизи Южного полюса. Учёные надеялись обнаружить пары воды в спектре выброшенных после удара частиц, но сделать это тогда не удалось.

27 февраля 2005 г. первая автоматическая межпланетная станция Европейского космического агентства SMART-1 стала искусственным спутником Луны и исследовала её до начала сентября 2006 г.

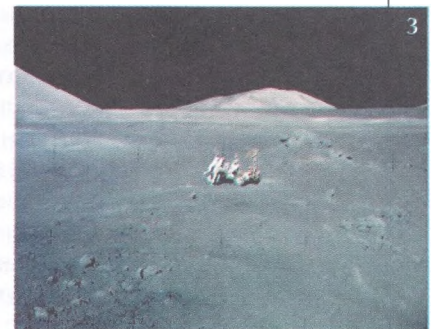
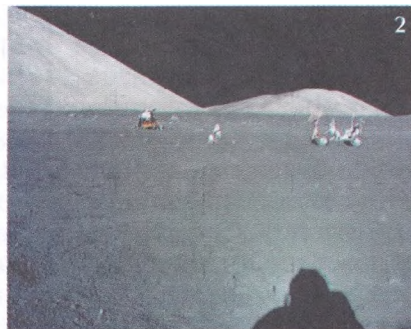
Китайский аппарат «Чанге-1», запущенный 24 октября 2007 г., выполнил фотографирование лунной поверхности и сбор данных для составления цифровой модели её рельефа. 1 марта 2009 г. аппарат был сброшен на поверхность Луны.

8 ноября 2008 г. на селеноцентрическую орбиту был выведен индийский аппарат «Чандрайян-1». 14 ноября от него отделился зонд, совершивший жёсткую посадку в районе южного полюса Луны. Аппарат

«Луноход» — самоходный аппарат для исследования поверхности Луны.

Лунная экспедиция «Аполлона-17»:

1. Геолог на Луне.
2. Земляне в необычном пейзаже.
3. Лунный автомобиль.





Станция
«Клементина».

работал в течение 312 дней и передавал данные о распределении химических элементов по поверхности и о высотах рельефа.

Японский аппарат «Кагуйя» и два дополнительных микроспутника «Окина» и «Оюна», работавшие в 2007—2009 гг., выполнили научную программу исследований Луны и передали данные о высотах рельефа и распределении силы тяжести на её поверхности с высокой точностью.

Новым важным этапом в исследовании Луны стал запуск 18 июня 2009 г. двух американских аппаратов Lunar Reconnaissance Orbiter («Лунный орбитальный разведчик») и LCROSS (спутник по наблюдению и детектированию лунных кратеров). 9 октября 2009 г. LCROSS был направлен в кратер Кабео. На дно кратера сначала упала отработавшая ступень ракеты «Атлас-V» массой 2,2 т. Примерно через четыре минуты туда же упал LCROSS (массой 891 кг), который перед падением промчался сквозь поднятое первым падением облако пыли, успев сделать необходимые исследования до момента своей гибели. Американские исследователи считают, что им всё-таки удалось найти некоторое количество воды в облаке лунной пыли. «Лунный орбитальный разведчик» продолжает исследовать Луну с полярной окололунной орбиты. На борту космического аппарата установлен российский прибор LEND (лунный исследовательский нейтронный детектор), предназначенный для поиска замёрзшей воды. В районе Южного полюса им обнаружено большое количество водорода, который может быть признаком наличия там воды в связанном состоянии.

В недалёком будущем начнётся освоение Луны. Уже в наши дни детально разрабатываются проекты создания на её поверхности постоянно действующей обитаемой базы. Длительное или постоянное присутствие

на Луне сменных экипажей такой базы позволит решать более сложные научные и прикладные задачи.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕРКУРИЯ

О поверхности ближайшей к Солнцу планеты ничего не было известно до полёта космического аппарата «Маринер-10», запущенного 3 ноября 1973 г. Масса научной аппаратуры составляла около 80 кг. Снимки поверхности, полученные в результате трёх пролётов «Маринера-10» с интервалом в шесть месяцев, показали удивительное сходство рельефа Меркурия с Луной: как оказалось, вся его поверхность покрыта множеством кратеров разных размеров. Во время первого пролёта, проходившего на высоте 705 км, были обнаружены ударная волна плазмы и магнитное поле вблизи Меркурия. Удалось уточнить значение радиуса планеты (2439 км) и её массы.

21 сентября 1974 г. на довольно большом расстоянии (более 48 тыс. километров) был осуществлён второй пролёт около Меркурия. Датчики температуры позволили установить, что днём температура поверхности планеты поднимается до 510 °С, а ночью опускается до -210 °С. Во время третьего пролёта около Меркурия, происходившего 16 марта 1975 г. на наименьшем расстоянии (318 км), было подтверждено, что обнаруженное магнитное поле действительно принадлежит планете. Его напряжённость составляет около 1 % от напряжённости земного магнитного поля. 3 тыс. фотографий, полученных на этом сеансе, имели разрешение до 50 м. Поскольку все три сеанса фотографирования охватывали западное полушарие планеты, восточное оставалось неисследованным.

Американский аппарат «Месенджер» был запущен к Мерку-



Космический
аппарат
«Маринер-10».



рию 3 августа 2004 г. Его размеры $1,27 \times 1,42 \times 1,85$ м, общая масса 1093 кг, масса топлива 600 кг, масса научной аппаратуры 52,2 кг; на штанге длиной 3,6 м укреплен магнитометр. Первый пролёт «Мессенджера» состоялся 14 января 2008 г. на расстоянии 200 км от поверхности Меркурия. Он сфотографировал восточную половину ранее не заснятого полушария планеты. Исследования Меркурия проведены в два этапа: сначала обзорные с пролётной траектории полёта при двух встречах с планетой (14 января и 6 октября 2008 г.), а затем (30 сентября 2009 г.) — детальные. При четвёртом сближении (18 марта 2011 г.) «Мессенджер» должен выйти на орбиту искусственного спутника Меркурия. Исследования планеты будут выполняться с орбиты спутника в течение земного года.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕНЕРЫ

Поверхность Венеры полностью скрыта мощным облачным покровом, и только с помощью радиолокаторов возможно «увидеть» её рельеф.

Первый спускаемый аппарат в виде сферы диаметром 0,9 м с теплозащитным покрытием был доставлен космическим аппаратом «Венера-3» в марте 1966 г. Спускаемые аппараты станций «Венера-4, -5, -6» передавали сведения о давлении, температуре и составе атмосферы во время спуска. Однако они выходили из строя, не достигнув поверхности планеты, поскольку не были рассчитаны на высокое атмосферное давление, которое у поверхности Венеры составляет, как оказалось, 90 атм! И только «Венера-7» в декабре 1970 г. передавала, наконец, с поверхности Венеры данные о составе атмосферы, температуре различных её слоев и поверхности, а также об изменении давления с высотой.

В июле 1972 г. «Венера-8» впервые села на дневную сторону планеты и показала, что освещённость на её поверхности напоминает земной пасмурный день. Облака Венеры, через которые прошёл аппарат на высоте от 70 до 30 км, имели слоистую структуру и были не очень плотными.

В октябре 1975 г. аппараты нового поколения «Венера-9, -10», совершившие мягкую посадку на расстоянии свыше 2 тыс. километров друг от друга на освещённой стороне планеты, впервые передали на Землю панорамы окружающей их местности. Масса каждого спускаемого аппарата диаметром 2,4 м составляла 1560 кг. В течение часа оставшиеся на орбите космические аппараты ретранслировали научную информацию с поверхности планеты на Землю.

Увидеть глобальные особенности рельефа большей части поверхности Венеры удалось благодаря радиолокационному зондированию, выполненному с американской станции «Пионер-Венера-1» в 1978 г. На картах, составленных по результатам измерения высот поверхности, можно видеть обширные возвышенности, отдельные горные массивы и низменности.

Интересный эксперимент был проведён с помощью станции «Пионер-Венера-2»: с неё в атмосферу Венеры были сброшены один большой (диаметр 1,5 м, масса 316 кг) и три малых (0,7 м, 97 кг) спускаемых аппарата на дневную и ночную стороны, а также в район северного полюса планеты. Аппараты передавали информацию в процессе падения, а один из малых аппаратов даже выдержал удар и передавал данные с поверхности в течение часа. Результаты этого эксперимента подтвердили, что атмосфера планеты содержит до 96 % углекислого газа, до 4 % азота и немного водяного пара. На поверхности был обнаружен тонкий слой пыли.



Космический аппарат «Венера-9».



В декабре 1978 г. проводили исследования и советские «Венера-11, -12», опустившиеся на расстоянии 800 км друг от друга. Кроме прочего, они зарегистрировали электрические разряды в атмосфере планеты. Один из аппаратов выявил 25 ударов молнии в секунду, а другой около 1000, причём один из раскатов грома продолжался 15 мин. По-видимому, возникновению этих разрядов способствует высокое содержание серной кислоты в облачном покрове.

Данные о химическом составе пород в месте посадок «Венеры-13, -14» были получены в марте 1982 г. с помощью специальных грунтозаборных устройств, поместивших породу внутрь спускаемого аппарата. Данные анализов, выполненных автоматами, были переданы на Землю, где учёные смогли сопоставить эти породы с базальтами, встречающимися в глубоководных впадинах земных океанов.

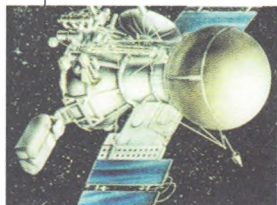
С орбит искусственных спутников Венеры аппараты «Венера-15, -16», оборудованные радиолокационными системами, передали изображения поверхности части северного полушария планеты и данные измерений высот рельефа. При каждом пролёте по сильно вытянутым околополярным орбитам снималась полоса местности шириной 160 км и длиной 8 тыс. км. По материалам этих съёмок составлен атлас поверхности Венеры, включающий карты рельефа, геологические и другие специальные карты.

Спускаемые аппараты нового типа, состоявшие из посадочного аппарата и аэростатного зонда, были сброшены с советских станций «Вега-1, -2», предназначенных для проведения исследований Венеры и кометы Галлея в 1985 г. Аэростатные зонды дрейфовали на высоте около 54 км и передавали данные в течение двух суток, посадочные же аппараты

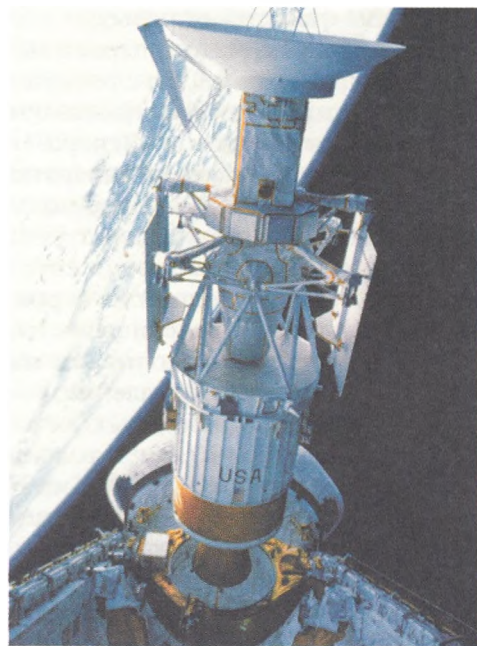
провели исследование атмосферы и поверхности планеты.

Наиболее подробные снимки всей поверхности Венеры были получены с помощью американского аппарата «Магеллан», запущенного астронавтами космического челнока «Атлантис» в мае 1989 г. Регулярная радиолокационная съёмка, проводимая в течение нескольких лет, позволила получить изображение рельефа поверхности Венеры с разрешением менее 300 м. На снимках были обнаружены уникальные формы рельефа, например семь крупных холмов, размером около 25 км и высотой до 1 км каждый, расположенные вблизи области Альфа, представляют собой очень толстые и медленно растекавшиеся лавовые потоки; это так называемые «вулканы-блины». Гравитационные измерения, проведённые вдоль траектории «Магеллана», показали, что кора Венеры более прочная и толстая, чем это считалось ранее. У Венеры есть железное ядро радиусом 3000 км и мантия из расплавленных горных пород, занимающая большую часть планеты.

► Космический аппарат «Магеллан».



Станция «Вега».



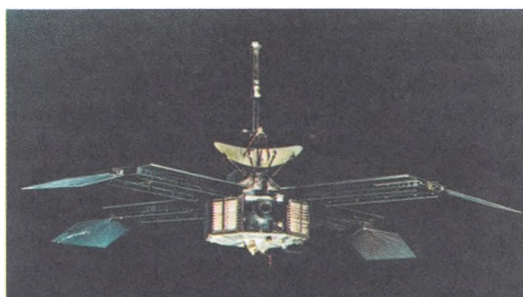


ИССЛЕДОВАНИЯ МАРСА И ЕГО СПУТНИКОВ

Полёт к Марсу занимает около восьми месяцев. Взаимное положение Земли и Марса всё время меняется; минимальные расстояния между ними (в противостоянии) бывают только раз в два года. Момент старта выбирается таким образом, чтобы Марс находился на пересечении с траекторией космического аппарата, достигшего к тому времени его орбиты.

Первый запуск в сторону Марса был осуществлён в начале ноября 1962 г.: советский «Марс-1» прошёл на расстоянии 197 тыс. километров от Красной планеты. Первые фотографии её поверхности получил американский «Маринер-4», запущенный два года спустя и 15 июля 1965 г. прошедший на расстоянии 10 тыс. км от поверхности планеты. Оказалось, что Марс тоже покрыт кратерами. Были уточнены масса планеты и состав её атмосферы. В 1969 г. аппараты «Маринер-6, -7» с расстояния 3400 км от Марса передали несколько десятков снимков с разрешением до 300 м, а также измерили температуру южной полярной шапки, которая оказалась очень низкой (-125°C).

В мае 1971 г. были запущены «Марс-2, -3» и «Маринер-9». Аппараты «Марс-2, -3» массой 4,65 т каждый имели орбитальный отсек и спускаемый аппарат. Мягкую посадку удалось совершить только спускаемому аппарату «Марса-3». Орбитальные аппараты «Марс-2, -3» стали искусственными спутниками Марса и передавали данные о свойствах его атмосферы и поверхности по характеру излучения в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектра, а также в диапазоне радиоволн. Была измерена температура северной полярной шапки (ниже -110°C); определены протяжённость, состав, температу-

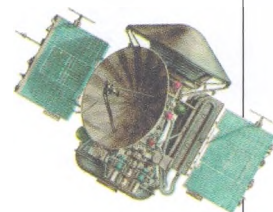


ра атмосферы, температура поверхности планеты; получены данные о высоте пылевых облаков и слабом магнитном поле, а также цветные изображения Марса.

«Маринер-9» тоже был переведён на орбиту искусственного спутника Марса с периодом около 12 ч. Он передал на Землю 7329 снимков Марса с разрешением до 100 м, а также фотографии его спутников — Фобоса и Деймоса. На снимках марсианской поверхности хорошо видны гигантские потухшие вулканы, множество крупных и мелких каньонов и долин, напоминающих высохшие русла. Марсианские кратеры отличаются от лунных своими выбросами, свидетельствующими о наличии подповерхностного льда, а также следами водной эрозии и ветровой активности.

Целая флотилия из четырёх космических аппаратов «Марс-4, -5, -6, -7», запущенных в 1973 г., достигла окрестностей Марса в начале 1974 г. Из-за неисправности бортовой системы торможения «Марс-4» прошёл на расстоянии около 2200 км от поверхности планеты, выполнив только её фотографирование. «Марс-5» проводил дистанционные исследования поверхности и атмосферы с орбиты искусственного спутника. Спускаемый аппарат «Марс-6» совершил мягкую посадку в южном полушарии. На Землю переданы данные о химическом составе, давлении и температуре атмосферы. «Марс-7» прошёл на расстоянии 1300 км от поверхности, не выполнив своей программы.

Космический аппарат «Маринер-4».



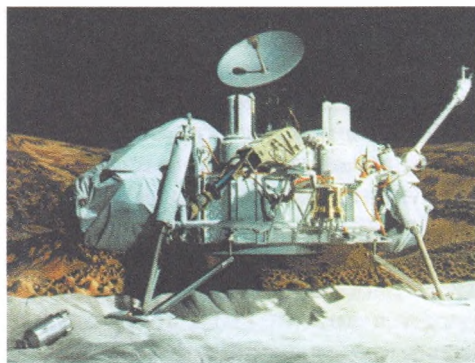
Космический аппарат «Марс-3».



Станция «Фобос».

Самыми результативными в те годы стали полёты двух американских «Викингов», запущенных в 1975 г. На их борту находились телекамеры, инфракрасные спектрометры для регистрации водяных паров в атмосфере и радиометры для получения температурных данных. Посадочный блок «Викинга-1» совершил мягкую посадку на Равнине Хриса 20 июля 1976 г., а «Викинга-2» — на Равнине Утопия 3 сентября 1976 г. В местах посадок были проведены уникальные эксперименты с целью обнаружить признаки жизни в марсианском грунте. Специальное устройство захватывало образец грунта и помещало его в один из контейнеров, содержащих запас воды или питательных веществ. Поскольку любые живые организмы изменяют среду своего обитания, приборы должны были это зафиксировать. Хотя некоторые изменения среды в плотно закрытом контейнере наблюдались, к таким же результатам могло привести наличие сильного окислителя в грунте. Вот почему учёные не смогли уверенно отнести эти изменения на счёт деятельности бактерий.

С орбитальных станций было выполнено детальное фотографирование поверхности Марса и его спутников. На основе полученных данных составлены подробные карты поверхности планеты, геологические, тепловые и другие специальные карты.



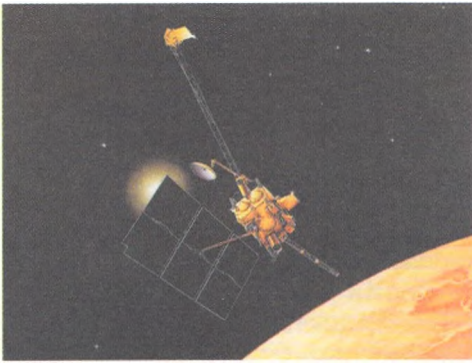
Космический аппарат «Викинг».

В задачу советских станций «Фобос-1, -2», запущенных после 13-летнего перерыва, входило исследование Марса и его спутника Фобоса. В результате неверной команды с Земли «Фобос-1» потерял ориентацию, и связь с ним не удалось восстановить. «Фобос-2» вышел на орбиту искусственного спутника Марса в январе 1989 г. Дистанционными методами получены данные об изменении температуры на поверхности Марса и новые сведения о свойствах пород, слагающих Фобос. Получено 38 изображений с разрешением до 40 м, измерена температура его поверхности, составляющая в наиболее горячих точках 30 °С. К сожалению, осуществить основную программу по исследованию Фобоса не удалось. Связь с аппаратом была потеряна 27 марта 1989 г. На этом не закончилась серия неудач. Космический аппарат «Марс Обсервер» (НАСА), запущенный в 1992 г., также не выполнил своей задачи. Связь с ним была потеряна 21 августа 1993 г. Не удалось вывести на траекторию полёта к Марсу и российскую станцию «Марс-96».

Одним из самых успешных проектов НАСА является станция «Марс Глобал Сервейер», запущенная 7 ноября 1996 г. для детального картографирования поверхности Марса. Аппарат выполняет также роль телекоммуникационного спутника для марсоходов «Спирит» и «Оппортьюнити», ретранслируя полученные ими данные на Землю.

В июле 1997 г. «Марс-Пасфайндер» (НАСА) доставил на планету первый автоматический марсоход «Соджернер» массой менее 11 кг, который успешно исследовал химический состав поверхности и метеорологические условия. Связь с Землёй марсоход поддерживал через посадочный модуль.

Аппарат «Марсианский разведывательный спутник» (НАСА) начал свою работу на орбите в марте 2006 г.



С помощью его камеры высокого разрешения на поверхности Марса можно различать детали размером от 30 см. На борту аппарата успешно работают различные приборы, предназначенные для изучения марсианской погоды, и радиолокатор для поиска льда и жидкой воды в верхних слоях поверхности.

«Марс Одиссей», «Марс Экспресс» и «Марсианский разведывательный спутник» продолжают исследования с орбиты. На поверхности планеты уже более 5 лет работают два марсохода «Спирит» и «Оппортьюнити». Аппарат «Феникс» работал в приполярной области с 25 мая по 2 ноября 2008 г. Впервые под слоем грунта он обнаружил лёд. «Феникс» доставил на планету цифровую библиотеку научной фантастики.

Разрабатываются программы полёта на Марс астронавтов. Такая экспедиция займёт более двух лет, поскольку, чтобы вернуться, им придётся ждать удобного взаимного расположения Земли и Марса.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЮПИТЕРА

Изучать планеты-гиганты с помощью космической техники начали на десятилетие позже, чем планеты земной группы. 3 марта 1972 г. с Земли стартовал американский космический аппарат «Пионер-10». Через шесть месяцев полёта аппарат успешно

миновал пояс астероидов и ещё через 15 месяцев достиг окрестностей «царя планет», пройдя на расстоянии 130 300 км от него в декабре 1973 г.

С помощью оригинального фотополяриметра получено 340 снимков облачного покрова Юпитера и поверхностей четырёх крупнейших спутников: Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто. Помимо Большого Красного Пятна, размеры которого превышают диаметр нашей планеты, обнаружено белое пятно поперечником более 10 тыс. километров. Инфракрасный радиометр показал, что температура внешнего облачного покрова составляет 133 К. Было обнаружено также, что Юпитер излучает в 1,6 раза больше тепла, чем получает от Солнца; уточнена масса планеты и спутника Ио.

Исследования показали, что Юпитер обладает мощным магнитным полем; также была зарегистрирована зона с интенсивной радиацией (в 10 тыс. раз больше, чем в околоземных радиационных поясах) на расстоянии 177 тыс. километров от планеты. Притяжение Юпитера сильно изменило траекторию полёта аппарата. «Пионер-10» начал двигаться по касательной к орбите Юпитера, удаляясь от Земли почти по прямой. Интересно, что шлейф магнитосферы Юпитера был обнаружен даже за пределами орбиты Сатурна. В 1987 г. «Пионер-10» вышел за границы Солнечной системы.

Трасса «Пионера-11», пролетевшего на расстоянии 43 тыс. километров от Юпитера в декабре 1974 г., была рассчитана иначе. Он прошёл между поясами и самой планетой, не получив опасной дозы радиации. На этом аппарате были установлены те же приборы, что и на предыдущем. Анализ цветных изображений облачного слоя, полученных фотополяриметром, позволил выявить особенности и структуру облаков. Их высота оказалась различной в полосах и расположенных между

◀ Космический аппарат «Марс-Обсервер».



Космический аппарат «Пионер-10».



ними зонах. Согласно исследованиям «Пионера-11», светлые зоны и Большое Красное Пятно характеризуются восходящими течениями в атмосфере. Облака в них расположены выше, чем в соседних областях полос, и здесь холоднее.

Притяжение Юпитера развернуло «Пионер-11» почти на 180°. После нескольких коррекций траектории полёта он пересёк орбиту Сатурна недалеко от самой планеты.

Уникальное взаимное расположение Земли и планет-гигантов с 1976 по 1978 г. было использовано для последовательного изучения этих планет. Под влиянием полей тяготения космические аппараты смогли переходить с трассы полёта от Юпитера к Сатурну, затем к Урану и Нептуну. Без использования гравитационных полей промежуточных планет полёт к Урану занял бы 16 лет вместо 9, а к Нептуну — 20 лет вместо 12. В 1977 г. в длительное путешествие отправились аппараты «Вояджер-1, -2», причём «Вояджер-2» был запущен раньше, 20 августа 1977 г., по «медленной» траектории, а «Вояджер-1» — 5 сентября 1977 г. по «быстрой».

«Вояджер-1» совершил пролёт около Юпитера в марте 1979 г., а «Вояджер-2» прошёл мимо гиганта на четыре месяца позже. Они передали на Землю снимки облачного покрова Юпитера и поверхностей ближайших спутников с удивительными подробностями. Атмосферные массы красного, оранжевого, жёлтого, коричневого и синего цветов постоянно перемещались. Полосы вихревых потоков захватывали друг друга, то сужаясь, то расширяясь. Скорость перемещения облаков оказалась равной 11 км/с. Большое Красное Пятно вращалось против часовой стрелки и делало полный оборот за 6 ч. «Вояджер-1» впервые показал, что у Юпитера имеется система бледных колец, расположенных на расстоянии 57 тыс. километров от облачного

покрова планеты, а на спутнике Ио действуют восемь вулканов. «Вояджер-2» сообщил спустя несколько месяцев, что шесть из них продолжают активно действовать. Фотографии других галилеевых спутников — Европы, Ганимеда и Каллисто — показали, что их поверхности резко отличаются друг от друга.

Космический зонд «Галилео» (НАСА), доставленный на околоземную орбиту в грузовом отсеке корабля многоразового использования «Атлантис», представлял собой аппарат нового поколения для исследования химического состава и физических характеристик Юпитера, а также для более детального фотографирования его спутников. Аппарат состоял из орбитального модуля для длительных наблюдений и специального зонда для проникновения в атмосферу планеты. Траектория «Галилео» была довольно сложной. Сначала он направился к Венере, мимо которой прошёл в феврале 1990 г. Затем по новой траектории в декабре он вернулся к Земле. Были переданы многочисленные фотографии Венеры, Земли и Луны. В октябре 1991 г., проходя через пояс астероидов, он сфотографировал астероид Гаспра. Вернувшись к Земле второй раз в декабре 1992 г. и получив новое ускорение, он устремился к основной цели своего путешествия — Юпитеру. Оказавшись в августе 1993 г. снова в поясе астероидов, он сфотографировал ещё один астероид — Иду.

Спустя два года «Галилео» достиг окрестностей Юпитера. По команде с Земли от него отделился спускаемый зонд и в течение пяти месяцев совершал самостоятельный полёт к границам атмосферы Юпитера со скоростью 45 км/с. За счёт сопротивления её верхних слоёв в течение двух минут скорость снизилась до нескольких сот метров в секунду. При этом перегрузки превосходили земную силу тяжести в 230 раз. Аппарат проник в



Космический аппарат «Галилео».



атмосферу на глубину 156 км и функционировал в течение 57 мин. Данные об атмосфере ретранслировались через основной блок «Галилео». Благодаря этим данным были построены более точные модели процессов, происходящих в атмосфере Юпитера. Много новых данных о спутниках Юпитера получил «Галилео». Например, было установлено, что Ио обладает собственным магнитным полем; высказаны гипотезы о наличии жидкой воды в недрах Европы, Ганимеда и Каллисто.

ИССЛЕДОВАНИЯ САТУРНА

Первым космическим аппаратом, посетившим окрестности Сатурна, был «Пионер-11», который 1 сентября 1979 г. прошёл на расстоянии 21 400 км от облачного слоя планеты. Магнитное поле Сатурна оказалось сильнее земного, но слабее, чем у Юпитера. Была уточнена масса Сатурна. По характеру поля тяготения сделан вывод, что внутреннее строение Сатурна похоже на строение Юпитера. По данным измерений инфракрасного излучения учёные определили температуру видимой поверхности Сатурна. Она оказалась равной 100 К, и этот факт свидетельствует о том, что планета излучает приблизительно вдвое больше тепла, чем получает от Солнца. В высоких широтах Сатурна предполагалось наличие полярных сияний.

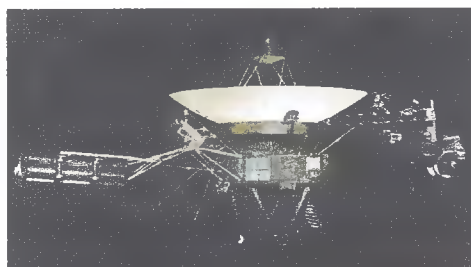
Впервые были получены изображения Титана, самого крупного из семейства спутников Сатурна, но, к сожалению, разрешение было очень низким. Необычно выглядели фотографии колец. К аппарату была обращена не освещенная Солнцем сторона колец, поэтому приборы фиксировали свет, не отражённый от колец, а прошедший сквозь них.

«Пионер-11» покинул Солнечную систему, но его слабые радиосигналы

ещё улавливаются земными антеннами.

Более качественные изображения были получены во время пролёта двух «Вояджеров», которые под действием притяжения Юпитера изменили свои траектории и направились к Сатурну. На снимках облачного покрова планеты видны завихряющиеся полосы, ореолы и пятна разных цветов — от жёлтого до коричневого, напоминающие образования на Юпитере. Обнаружено и красное пятно поперечником около 1250 км, а также быстро исчезающие тёмные овальные образования. «Вояджер-1» впервые показал, что система колец Сатурна состоит из тысяч отдельных узких колечек, обнаружил шесть новых спутников и, пройдя на расстоянии 4030 км от Титана, установил, что основным компонентом его атмосферы является азот, а не метан, как предполагалось ранее. Получены интересные данные и о некоторых других спутниках Сатурна: Тефии, Мимасе, Дионе, Рее и Энцеладе. «Вояджер-1» выполнил основные задачи и отправился за пределы Солнечной системы.

На самое близкое расстояние к Сатурну подошёл «Вояджер-2». В системе колец планеты оказалось ещё больше отдельных колечек, состоящих из бесчисленного множества частиц льда, крупных и мелких обломков. На спутнике Тефия «Вояджер-2» обнаружил крупнейший кратер во всей системе Сатурна диаметром 400 км и глубиной 16 км. После встречи с Сатурном траектория



Космический аппарат «Вояджер».



полёта «Вояджера-2» была изменена таким образом, чтобы в январе 1986 г. он прошёл около Урана.

Новые исследования Сатурна, его колец и спутников выполнены аппаратом «Кассини — Гюйгенс», созданном при участии 17 государств. Он был запущен 15 октября 1997 г. и достиг системы Сатурна 1 июля 2004 г. Зонд «Гюйгенс» отделился от основного аппарата 25 декабря 2004 г. и выполнил успешный спуск в атмосфере Титана. В качестве источника энергии «Кассини» использован термоэлектрический генератор с оксидом плутония (поставлен Россией), поскольку использовать солнечный свет невозможно из-за большого расстояния Сатурна от Солнца. Такие генераторы рассчитаны на долгий срок работы. Первоначально миссия была запланирована на работу до 2008 г., но затем продлена до 2017 г. Предполагается выполнить 155 дополнительных витков вокруг Сатурна, 54 сближения с Титаном и 11 с Энцеладом. Основные задачи этого полёта включают: определение структуры и динамики колец Сатурна, изучение магнитосферы Сатурна, выяснение геологического строения поверхности спутников, происхождение тёмного материала на одном из полушарий Япета, исследование облаков и тумана в атмосфере Титана и особенностей строения поверхности Титана. На снимках, переданных «Кассини», были выявлены новые спутники. На радарных изображениях Титана были обнаружены озёра, заполненные жидкими углеводородами.

ИССЛЕДОВАНИЯ УРАНА

В окрестностях Урана побывал только один космический аппарат — «Вояджер-2» (НАСА), пролетевший в 1986 г. на расстоянии 81 200 км от верхней границы облаков. Траектория аппарата была почти перпенди-

кулярна плоскости, в которой находятся спутники, поэтому с близкого расстояния удалось сфотографировать только Миранду, самый маленький из известных до этого полёта спутников. Напряжённость магнитного поля Урана оказалась больше, чем у Сатурна, а интенсивность поясов радиации такая же, как у поясов Земли. В ультрафиолетовой области спектра зарегистрировано свечение атмосферы Урана, простирающееся на 50 тыс. километров от планеты.

Как и у других планет-гигантов, в атмосфере Урана обнаружены вихри, струйные течения, пятна (но их гораздо меньше), а в глубине её зарегистрированы метановые облака. Гелия оказалось в три раза меньше, чем предполагалось ранее: всего 15%. Циркуляция атмосферы происходит в высоких широтах с большей скоростью, чем у экватора.

«Вояджер-2» обнаружил новое, десятое кольцо шириной 3 км и несколько неполных колец тёмного цвета. Частицы, составляющие кольца, имеют в поперечнике порядка 1 м.

Получены изображения пяти ранее известных спутников и десяти новых, небольших по размерам. На Обероне обнаружено несколько крупных кратеров и гора высотой около 6000 м, на Титании — многочисленные кратеры и долины. Поверхность Умбриэля очень гладкая, на ней видны кратеры и светлое пятно. Сильно кратерированная поверхность Ариэля со следами различных геологических процессов напоминает спутник Сатурна Энцелад. Наиболее сложной оказалась поверхность Миранды, испещрённая бороздами, хребтами и разломами глубиной несколько километров. Такая активная тектоническая деятельность оказалась неожиданной на спутнике, диаметр которого меньше 500 км.

Под действием тяготения Урана траектория «Вояджера-2» изменилась так, что он направился к Нептуну.



ИССЛЕДОВАНИЯ НЕПТУНА

К моменту встречи с Нептуном 25 августа 1989 г. «Вояджер-2» преодолел расстояние 4,5 млрд километров. Несмотря на долгий путь, занявший 12 лет, и многочисленные коррекции траектории при перелёте от Юпитера к Сатурну и Урану, «Вояджер» оказался на минимальном расстоянии от Нептуна (менее 5000 км) в точно рассчитанное на Земле время. На цветных снимках, синтезированных на основе сигналов с «Вояджера», виден мощный вихрь размером с нашу планету, который вращается в атмосфере против часовой стрелки. У Нептуна обнаружено магнитное поле, ось магнитных полюсов отклонена на 50° от оси вращения планеты. «Вояджер-2» выявил у Нептуна также пять слабых колец.

По наземным исследованиям были известны лишь два спутника: Тритон и Нереида. «Вояджер» открыл ещё шесть спутников размерами от 200 до 50 км. Тритон имеет очень тонкую газовую оболочку, верхний слой которой состоит из азота. В нижних слоях обнаружены метан и твёрдые частицы азотных образований. Наряду с кратерами на его поверхности открыты действующие вулканы, каньоны и горы. У Тритона и Нереиды в ультрафиолетовом диапазоне обнаружены явления, напоминающие земные полярные сияния.

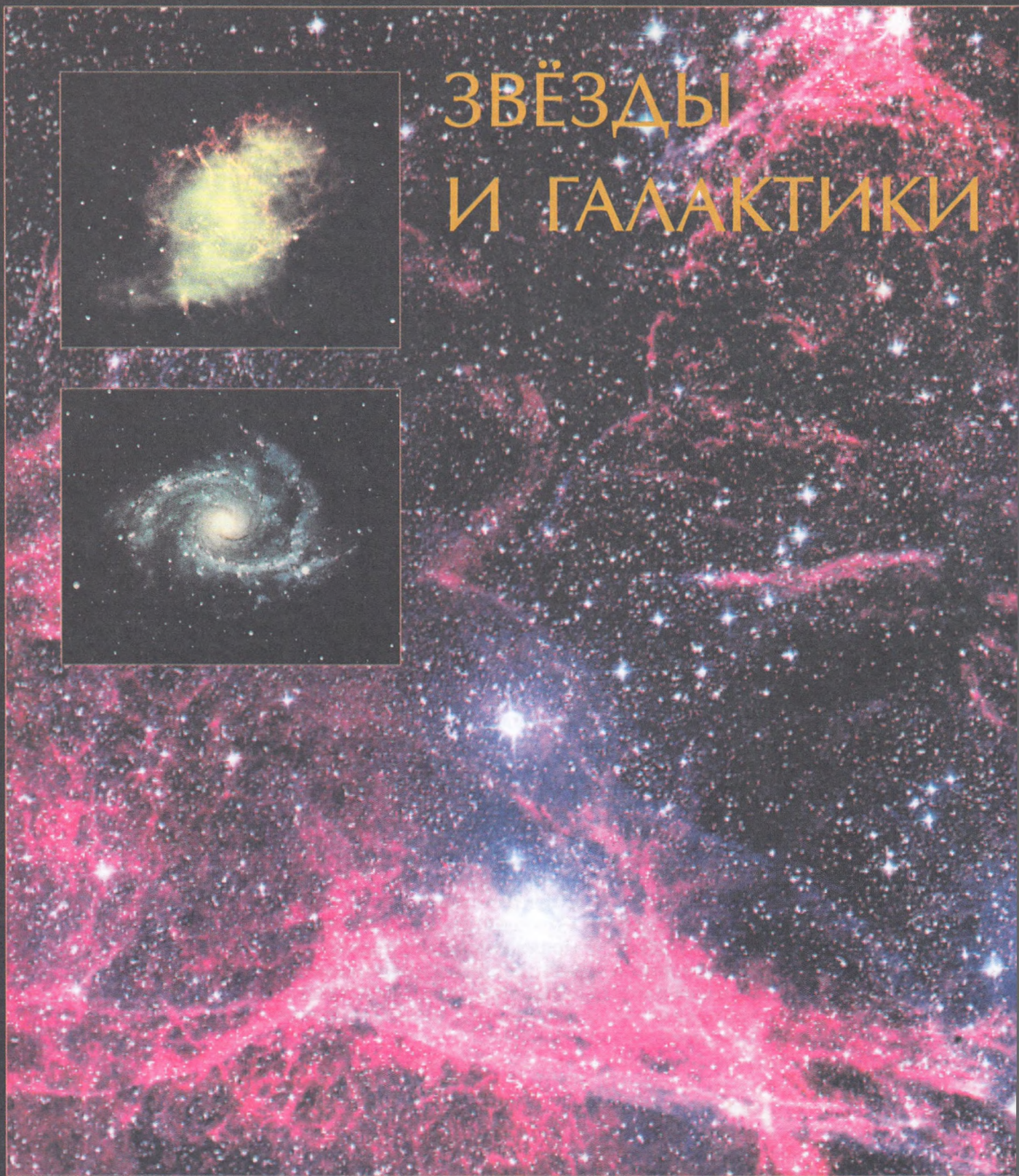
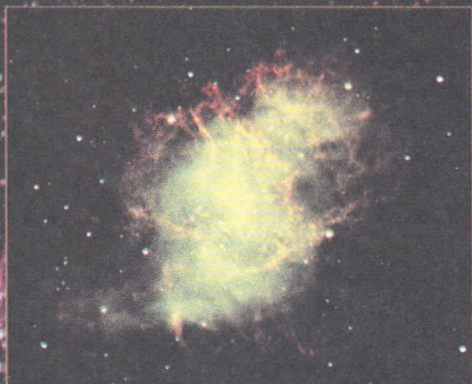
«Вояджер-2» продолжает исследование пространства за пределами Солнечной системы. Учёные надеются получать сведения с этого космического аппарата до 2013 г.

До карликовой планеты Плутон космические зонды пока не добрались: с визитом туда летит аппарат «Новые горизонты» (НАСА), стартовавший в январе 2006 г., который сблизится с Плутоном 14 июля 2015 г. и проследует дальше, к другим объектам Пояса Койпера. Таких объектов всё больше обнаруживается при наблюдениях в наземные телескопы, а с помощью космического телескопа «Хаббл» в мае 2005 г. были открыты два новых спутника Плутона, получившие имена Никта и Гидра. Орбиты этих спутников проходят за орбитой Харона: Никта движется на расстоянии около 50 тыс. километров от Плутона, а Гидра — около 65 тыс. километров.

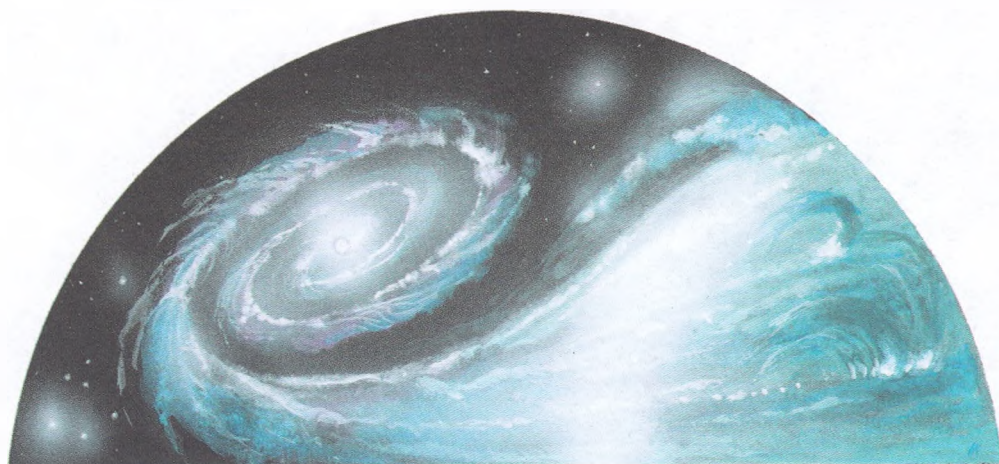
Космические аппараты совершали экспедиции и к малым телам Солнечной системы. «Галилео», NEAR — Shoemaker, Deep Space 1, Stardust, New Horizons, «Розетта», «Кассини — Гюйгенс» по пути следования к своим основным целям выполняли также съёмку астероидов с близкого расстояния, а NEAR — Shoemaker даже совершил незапланированную посадку на астероид Эрос в 2000 г. Аппараты «Вега», «Джотто», Deep Space 1 и Stardust сближались с ядрами комет, а Stardust в 2006 г. доставил образцы пыли из головы кометы Вильд-2 на Землю. Наконец, японский зонд «Хаябуса» в 2005 г. взял пробу грунта с поверхности астероида Итокава и 13 июня 2010 г. доставил её на Землю. Прямое изучение малых тел Солнечной системы существенно уточняет наши представления о происхождении планет.



ЗВЁЗДЫ И ГАЛАКТИКИ







ЗВЁЗДЫ: ГЛАВНЫЕ ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЛИЦА

ЧТО ТАКОЕ ЗВЕЗДА

Они восходили над динозаврами, над льдами Великих Оледенений, над строящимися египетскими пирамидами. Одни и те же звёзды указывали путь финикийским мореплавателям и каравеллам Колумба, созерцали с высоты Столетнюю войну и взрыв ядерной бомбы в Хиросиме и Нагасаки. Одним людям в них виделись глаза богов и сами боги, другим — серебряные гвозди, вбитые в хрустальный купол небес, третьим — отверстия, через которые струится небесный свет.

Постоянство и непознаваемость звёзд наши предки считали непреложными условиями существования мира. Древние египтяне полагали, что, когда люди разгадают природу

звёзд, наступит конец света. Другие народы верили, что жизнь на Земле прекратится, как только созвездие Гончих Псов догонит Большую Медведицу. Наверное, им очень важно было сознавать, что в неверном и изменчивом мире остаётся что-то неподвластное времени.

Неудивительно, что любые изменения в мире звёзд издавна считались предвестниками значительных событий. Согласно Библии, внезапно вспыхнувшая звезда возвестила миру о рождении Иисуса Христа, а другая звезда — Полярная — будет знаком конца света.

В течение многих тысячелетий астрологи сверяли по звёздам жизнь отдельных людей и целых государств,



хотя и предупреждали при этом, что роль звёзд в предначертании судьбы велика, но не абсолютна. Звёзды советуют, предупреждают, но не приказывают, говорили они.

Шло время, и люди стали всё чаще смотреть на звёзды с другой, менее романтической точки зрения. Как сказал один из героев Антуана де Сент-Экзюпери: «Вы проинтегрировали орбиту звезды, о жалкий род исследователей, и звезда перестала быть для вас живым светилом». Действительно, звёзды стали рассматриваться как физические объекты, для описания которых вполне достаточно известных законов природы.

Однако на пути к этому описанию учёных ждали многочисленные трудности. Покровы тайны спадали со звёзд неохотно, и каждая решённая загадка ставила перед пытливыми умами десятки новых. К тому же время от времени приходилось расставаться с устоявшимися представлениями.

О том, что некоторые звёзды меняют свой блеск, знали ещё древние греки. Наука Нового времени показала, что это свойство в той или иной степени присуще очень многим



Участок неба над горами Юра (Швейцария). На нём заметны богатые яркими звёздами зимние созвездия. В центре — Орион. Пояс Ориона (три близкие яркие звезды) указывает левым концом на Сириус — самую яркую звезду неба, а правым — на Альдебаран (α Тельца).

звёздам. Веками звёзды именовались неподвижными. Лишь в 1718 г. английский астроном Эдмунд Галлей доказал, что три яркие звезды — Сириус, Процион и Арктур — медленно перемещаются относительно других звёзд. Последующие наблюдения под-

Константин
Богаевский.
Звезда Полюнь.



◀ Гюстав Доре. Вифлеемская звезда.



твердили, что медленное относительное перемещение звёзд является правилом, а не исключением. Другой английский астроном, Уильям Гершель, в конце XVIII в. предполагал, что все звёзды излучают примерно одинаковое количество света, а различия в видимой яркости обусловлены лишь неодинаковым удалением их от Земли, и поэтому по яркости звезды можно узнать, насколько она далека. Но когда в 1837 г. были измерены расстояния до ближайших звёзд, оказалось, что и это впечатление не соответствует действительности.

Нам повезло — мы живём в относительно спокойной области Вселенной. Возможно, именно благодаря этому жизнь на Земле возникла и существует на протяжении такого огромного (по человеческим меркам) промежутка времени. Но с точки зрения исследования звёзд этот факт вызывает чувство досады. На многие парсеки вокруг (*парсек* — единица звёздных расстояний, равная 3,26 светового года, или примерно 30 трлн километров) — только неяркие и невыразительные

светила, в лучшем случае подобные нашему Солнцу, а чаще гораздо более тусклые. Все редко встречающиеся типы звёзд находятся очень далеко. Видимо, поэтому разнообразие мира звёзд так долго оставалось скрытым от человеческого глаза.

И только изобретение новых астрономических приборов позволило осознать, насколько звёзды разные. Наверное, именно тогда вопрос «что такое звезда?» встал перед учёными в полный рост. Поначалу же он был обращён только к той звезде, которая благодаря своей близости оказалась более доступной для наблюдений, чем остальные, — к Солнцу.

Ещё древние греки связывали Солнце с вечным пламенем. Учёные Нового времени попытались понять, что является источником топлива для этого пламени. Откуда Солнце черпает свою энергию?

До середины XIX в. считалось, что наружный слой Солнца горячий, а под ним скрывается холодная поверхность, изредка видимая через пятна — просветы в раскалённых солнечных облаках. Для объяснения высокой температуры этих облаков предлагалась гипотеза о непрерывно падающих на Солнце кометах и метеоритах, которые передают ему свою кинетическую энергию. Впоследствии от этой гипотезы пришлось отказаться. Пробовали объяснить энерговыделение на Солнце простым, привычным земным огнём — теплом, выделяющимся при химических реакциях. Но и эта гипотеза оказалась несостоятельной. Весь запас солнечных «дров» выгорел бы за несколько тысяч лет, а по данным геологии уже тогда, в середине XIX в., было известно, что Земля существует гораздо дольше и всё это время на неё светило Солнце.

В 1853 г. немецкий физик Герман Гельмгольц предположил, что источником энергии Солнца и других звёзд является их сжатие. (То, что при



Альдебаран, самая яркая звезда одного из зодиакальных созвездий — Тельца. Имя звезды в переводе с арабского означает «идуший вослед», так как Альдебаран движется по небу вслед за звёздным скоплением Плеяды.

Сириус (α Большого Пса).Ригель (β Ориона).

сжатии газ нагревается, знает каждый, кто хотя бы раз накачивал колесо велосипеда ручным насосом.) При этом на нагрев газа затрачивается не вся выделяющаяся энергия. Часть её расходуется на излучение. Сжатие — это уже значительно более мощный источник энергии, чем простое горение вещества. Сжимающееся Солнце могло бы светить десятки миллионов лет. Но и этого оказалось мало. Источник энергии Солнца бесперебойно действует уже несколько миллиардов лет. Как только не пытались учёные выйти из этого тупика!

Задача существенно усложнилась после того, как звёзды предстали перед исследователями во всём многообразии своих свойств.

Основными характеристиками звёзды, которые могут быть тем или иным способом определены из наблюдений, являются мощность её излучения (в астрономии она называется светимостью), масса, радиус, температура и химический состав атмосферы. Зная эти параметры, можно рассчитать возраст звезды. Интересно, что Солнце по своим характеристикам занимает среднее положение, среди других звёзд ничем особенно не выделяясь. В целом же перечисленные выше параметры изменяются в очень широких пределах и, кроме того, взаимосвязаны.

Звёзды самой высокой светимости обладают наибольшей массой, и наоборот, маломассивные звёзды светят очень слабо.

Астрономы не в состоянии проследить жизнь одной звезды от нача-

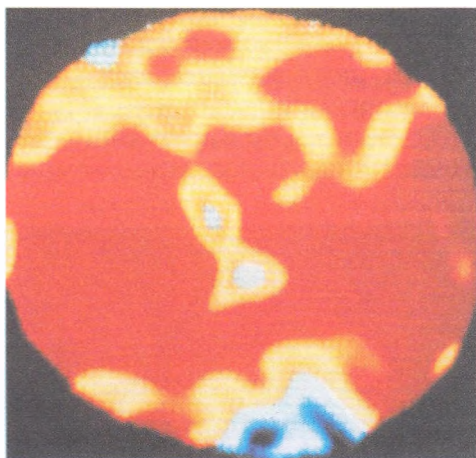
Солнце — ближайшая к нам звезда.





ла и до конца. Даже самые короткоживущие звёзды существуют миллионы лет — дольше жизни не только одного человека, но и всего человечества. Однако учёные могут наблюдать много звёзд, находящихся на самых разных стадиях развития, — только что родившиеся и уже умирающие. По многочисленным звёздным портретам они стараются восстановить эволюционный путь каждой звезды и написать её биографию.

Жизнь звезды довольно сложна. В течение своей истории она разо-



Диск звезды
Бетельгейзе
(α Ориона).

гревается до очень высоких температур, а старея, остывает до такой степени, что в её атмосфере начинают образовываться пылинки. Одна и та же звезда может раздуться до грандиозных размеров, сравнимых с размерами орбиты Марса, и сжаться до нескольких десятков километров. Светимость её возрастает до миллионов светимостей Солнца и падает почти до нуля.

Картина эволюции звезды усложняется вращением, иногда очень быстрым, на пределе устойчивости (при быстром вращении центробежные силы стремятся разорвать звезду). Некоторые звёзды обладают скоростью вращения на поверхности 500—600 км/с. Для Солнца эта величина составляет около 2 км/с.

Даже такая относительно спокойная звезда, как Солнце, испытывает колебания с различными периодами, на его поверхности происходят вспышки и выбросы вещества. Активность некоторых других звёзд несравнимо выше. На определённых этапах эволюции звезда может стать переменной, начав регулярно менять свой блеск, сжиматься и опять расширяться. А иногда на звёздах происходят сильные взрывы. Когда взрываются самые массивные звёзды, их блеск на короткий срок может превысить блеск всех остальных звёзд галактики, вместе взятых.

В начале XX в., в основном благодаря трудам английского астрофизика Артура Эддингтона, окончательно сформировалось представление о звёздах как о раскалённых газовых шарах, заключающих в своих недрах источник энергии — термоядерный реактор, синтезирующий ядра гелия из ядер водорода. Впоследствии выяснилось, что в звёздах рождаются и более тяжёлые химические элементы. Вещество, из которого сделана эта книга, также прошло через «термоядерную топку» и было выброшено в космическое пространство при взрыве породившей его звезды.

По современным представлениям, жизненный путь одиночного светила определяется его начальной массой и химическим составом. Чему равна минимальная возможная масса звезды, с уверенностью мы сказать не можем. Дело в том, что маломассивные звёзды — очень слабые объекты, и наблюдать их довольно трудно. Теория звёздной эволюции утверждает, что в телах массой меньше, чем семь-восемь сотых долей массы Солнца, долговременные термоядерные реакции идти не могут. Эта величина близка к минимальной массе наблюдаемых звёзд. Их светимость меньше солнечной в десятки тысяч раз. Температура на поверхности подобных звёзд не превосходит 2—3 тыс. градусов. Од-



ним из таких тусклых багрово-красных карликов является ближайшая к Солнцу звезда Проксима в созвездии Кентавра.

Если же начальная масса «протозвёздного» тела оказывается меньше 0,07—0,08 массы Солнца, в нём на короткое время происходят лишь быстротекучие термоядерные реакции с участием дейтерия. Такое тело называют уже не звездой, а коричневым карликом или субзвёздным объектом, т. е. «недозвездой». При начальной массе менее 13 масс Юпитера мы получим уже даже не «недозвезду», а тело, неотличимое от планеты-гиганта, в котором никакие термоядерные реакции протекать не могут.

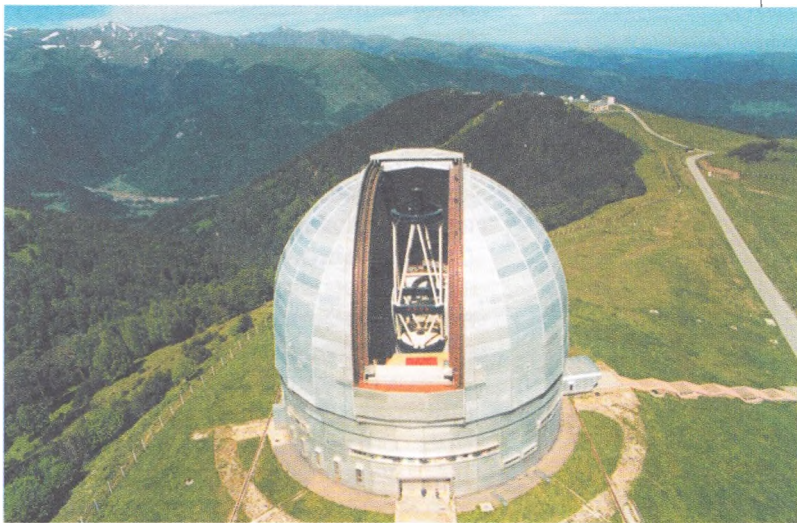
В звёздах большой массы, напротив, эти реакции протекают с огромной скоростью. Если масса рождающейся звезды превышает 50—70 солнечных масс, то после начала горения термоядерного топлива чрезвычайно интенсивное излучение своим давлением может просто сбросить излишек массы. Звёзды, масса которых близка к предельной, обнаружены, например, в туманности Тарантул в соседней с нами галактике Большое Магелланово Облако. Есть они и в нашей Галактике. Через несколько миллионов лет, а может быть и раньше, эти звёзды могут взорваться как сверхновые (так называют взрывающиеся звёзды с большой энергией вспышки).

История изучения химического состава звёзд начинается с середины XIX в. Ещё в 1835 г. французский философ Огюст Конт писал, что химический состав звёзд навсегда останется для нас тайной. Но вскоре был применён метод спектрального анализа, который теперь позволяет узнать, из чего состоят не только Солнце и близкие звёзды, но и самые удалённые галактики и квазары. Спектральный анализ дал неоспоримые доказательства физического единства мира. На звёздах не обнаружено ни

одного неизвестного химического элемента. Лишь один элемент — гелий — был открыт сначала на Солнце и лишь потом на Земле. Но не встречающиеся на Земле физические состояния вещества (сильная ионизация, вырождение) наблюдаются именно в атмосферах и недрах звёзд.

Наиболее обильным элементом в звёздах (как и во всей Вселенной)

Ночное небо.
Звёзды созвездий Орион, Большой Пёс (слева) и Возничий (справа).



Башня одного из крупнейших современных телескопов — шестиметрового рефлектора БТА (гора Пастухова близ станции Зеленчукская, Северный Кавказ, Россия).



является водород. Приблизительно втрое меньше по массе содержится в них гелия. Доля остальных, тяжёлых элементов невелика (около 2 %), но они, по выражению американского астрофизика Дэвида Грея, подобно щепотке соли в тарелке супа, придают особый вкус работе исследователя звёзд. От их количества во многом зависят и размер, и температура, и светимость звезды.

После водорода и гелия на звёздах наиболее распространены те же элементы, что преобладают в химическом составе Земли: кислород, углерод, азот, железо и др. Химический состав оказался различным у звёзд разного возраста. В самых старых звёздах доля элементов тяжелее гелия значительно меньше, чем на Солнце. В некоторых звёздах содержание железа меньше солнечного в тысячи раз. А вот звёзд, где этих элементов было бы больше, чем на Солнце, сравнительно немного. Эти звёзды (многие из них двойные), как правило, необычны и по другим параметрам: температуре, напряжённости магнитного поля, скорости вращения. Некоторые звёзды выделяются по содержанию какого-нибудь одного элемента или группы элементов. Таковы, например, бариевые или ртутно-марганцевые звёзды. Причины подобных аномалий пока окончательно не установлены.

На первый взгляд может показаться, что исследование этих малых добавок не много даёт для понимания звёздной эволюции. Но на самом деле это не так. Химические элементы тяжелее гелия образовались в результате термоядерных и ядерных реакций в недрах очень массивных звёзд, а также при вспышках сверхновых звёзд предыдущих поколений. Изучение зависимости химического состава от возраста звёзд позволяет пролить свет на историю их образования в различные эпохи, на химическую эволюцию Галактики в целом.

Важную роль в жизни звезды играет её магнитное поле. С магнитным полем связаны практически все проявления солнечной активности: пятна, вспышки, факелы и др. На звёздах, магнитное поле которых значительно сильнее солнечного, эти процессы протекают с большей интенсивностью. В частности, переменность блеска некоторых таких звёзд объясняют появлением пятен, аналогичных солнечным, но закрывающих десятки процентов их поверхности. Однако физические механизмы, обуславливающие активность звёзд, до конца ещё не изучены. Наибольшей интенсивности магнитные поля достигают на компактных звёздных остатках — белых карликах и особенно нейтронных звёздах.

За период немногим более двух столетий представление о звёздах кардинально изменилось. Из непостижимо далёких и равнодушных светящихся точек на небе они превратились в предмет всестороннего физического исследования. Благодаря развитию наблюдательных технологий астрономы получили возможность исследовать не только видимое, но и невидимое глазу излучение звёзд, причём не только электромагнитное, но (в случае Солнца) и нейтринное. В последние годы активно развивается новая область звёздной астрофизики — астросейсмология. Применение к звёздам сейсмических методов исследования позволило заглянуть в их недра. Сейчас уже многое известно об их строении и эволюции, хотя немало остаётся и необъяснённого, особенно это касается самых начальных и самых последних этапов жизни звёзд. Ещё впереди то время, когда исполнится мечта создателя современной науки о звёздах Артура Эддингтона и мы наконец «сможем понять такую простую вещь, как звезда».



СНЯТИЕ МЕРКИ СО ЗВЁЗД

Чтобы любоваться звёздным небосводом, совсем не обязательно описывать все звёзды и выяснять их физические характеристики — они красивы сами по себе. Но путь к познанию звёзд лежит через измерения и сопоставление свойств.

БЛЕСК

Первое, что замечает человек при наблюдении ночного неба, — это различная яркость (блеск) звёзд. Видимый блеск звёзд оценивают в звёздных величинах (см. статью «Звёздные величины»). Исторически сложившаяся система звёздных величин присваивала 1-ю величину наиболее ярким звёздам, а 6-ю — самым слабым, находящимся на пределе видимости невооружённым глазом. Впоследствии было принято, что разность в пять звёздных величин соответствует отличию в видимой яркости ровно в 100 раз. Звёздные величины обозначают верхним индексом m (от лат. *magnitudo* — «величина»).

Для оценки блеска ярчайших небесных светил были введены нулевые и отрицательные звёздные величины. Так, полная Луна имеет блеск около -11^m (в 10 тыс. раз ярче самой яркой звезды — Сириуса), Венера — до -4^m . С изобретением телескопа астрономы познакомились со звёздами слабее 6^m . Даже в бинокль могут быть видны звёзды 10^m , а крупнейшим телескопам доступны объекты $25-29^m$.

Видимый блеск звезды — легко измеряемая, важная, но далеко не исчерпывающая характеристика. Для того чтобы установить мощность излучения звезды — *светимость*, надо знать расстояние до неё.

РАССТОЯНИЯ ДО ЗВЁЗД

Расстояние до далёкого, недоступного предмета можно определить из геометрии, измерив направления на этот предмет с двух концов известного отрезка (базиса), а затем рассчитав размеры треугольника, образованного концами отрезка и удалённым предметом. Это можно сделать, потому что в треугольнике известна одна сторона (базис) и два прилежащих угла. При измерениях на Земле этот метод называют триангуляцией.

Чем больше базис, тем точнее результат измерения. Расстояния до звёзд столь велики, что длина базиса должна многократно превосходить размеры земного шара, иначе ошибка измерения будет больше измеряемой величины. К счастью, наблюдатель вместе с нашей планетой путешествует в течение года вокруг Солнца, и если он произведёт два наблюдения одной и той же звезды с интервалом в несколько месяцев, то окажется, что он рассматривает её с разных точек земной орбиты, — а это уже довольно большой базис. При перемещении Земли направление на звезду изменится: она немного сместится на фоне более далёких звёзд. Это смещение называется *параллактическим*, а угол, на который сместилась звезда на небесной сфере, — *параллаксом*. *Годичным параллаксом* звезды называется угол, под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты, перпендикулярный направлению на звезду.

Параллаксы даже самых близких звёзд чрезвычайно малы, меньше $1''$. Для их определения требуются очень точные инструменты, поэтому не удивительно, что до середины XIX в. измерить параллаксы не удавалось. И разумеется, это было совершен-



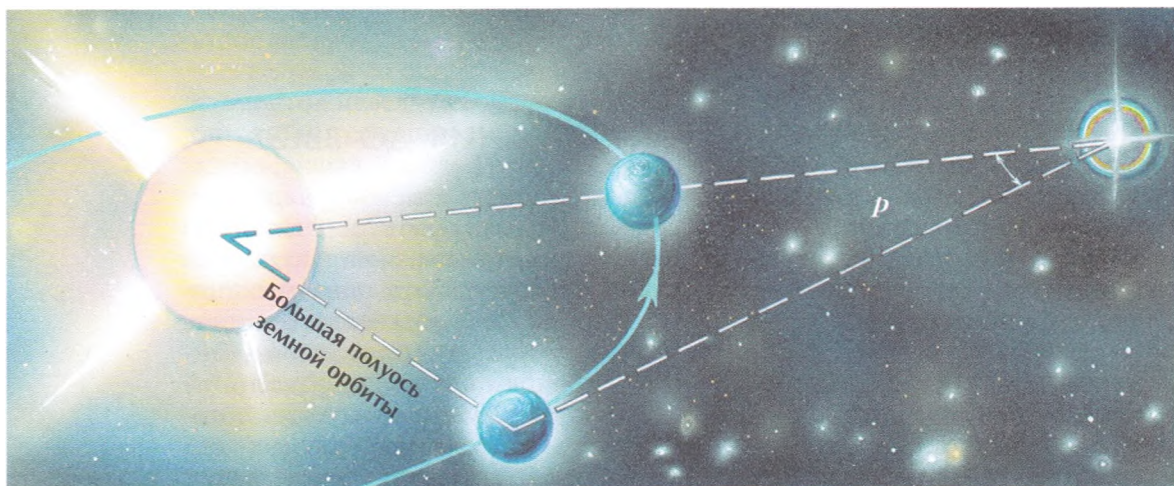


Схема годичного параллакса.

но невозможно во времена Коперника, который впервые предложил метод параллакса для доказательства своей гелиоцентрической системы (в геоцентрической системе параллактических смещений быть не должно).

С понятием параллакса связано название одной из основных единиц расстояний в астрономии — *парсек* (сокращение от «параллакс» и «секунда»). Это расстояние до воображаемой звезды, годичный параллакс которой равнялся бы точно 1" (т. е. радиус земной орбиты, равный одной астрономической единице (1 а. е.), виден с такой звезды под углом 1"). Годичный параллакс любой звезды связан с расстоянием до неё простой формулой:

$$r = \frac{1}{p},$$

где r — расстояние в парсеках, p — годичный параллакс в секундах.

Из соотношений в параллактическом треугольнике легко вычислить, что 1 парсек (пк) равен 206 265 а. е., или примерно 30 трлн километров. Это очень большая величина, свет преодолевает такой путь за 3,26 года.

Сейчас методом параллакса определены расстояния до многих тысяч звёзд. К сожалению, лишь для бли-

жайших соседей это удаётся сделать с большой точностью. Однако существует ряд методов, с помощью которых расстояние до звезды можно получить косвенным путём, используя различные астрофизические или статистические соотношения.

СВЕТИМОСТЬ

Когда были измерены расстояния до ярких звёзд, стало очевидным, что многие из них по светимости значительно превосходят Солнце. Если светимость Солнца ($L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт) принять за единицу, то, к примеру, мощность излучения четырёх ярчайших звёзд неба, выраженная в светимостях Солнца, составит:

Сириус	$22 L_{\odot}$
Канопус	$4700 L_{\odot}$
Арктур	$107 L_{\odot}$
Вега	$50 L_{\odot}$

Но светимость большинства звёзд меньше солнечной: из нескольких десятков ближайших звёзд только две — Сириус и Прокцион — имеют более высокую светимость, чем Солнце, и ещё одна — α Кентавра — сравнима с ним. Известны звёзды, излучающие света в десятки тысяч



раз меньше, чем Солнце. Интервал светимостей наблюдаемых звёзд оказался невероятно широким: они могут отличаться более чем в миллиард раз!

ЦВЕТ И ТЕМПЕРАТУРА

Одна из сравнительно легко измеряемых звёздных характеристик — цвет. Как раскалённый металл меняет свой цвет в зависимости от степени нагрева, так и цвет звезды всегда указывает на её температуру. Самые горячие звёзды — всегда голубого и белого цвета, менее горячие — желтоватого, холодные — красноватого.

Человеческий глаз способен лишь грубо определить цвет звезды. Для более точных оценок служат приёмники излучения, чувствительные к различным участкам видимого (или невидимого) спектра. Ведь цвет звезды зависит от того, на какой участок спектра приходится наибольшая энергия излучения. Сравнение звёздных величин в разных интервалах спектра (например, в голубом и жёлтом) позволяет количественно охарактеризовать цвет звезды и оценить её температуру. Разность звёздных величин в различных спектральных диапазонах, называется её показателем цвета.

СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЁЗД

Более полную информацию о природе излучения звёзд даёт спектр. Спектральный аппарат, устанавливаемый на телескопе, при помощи специального оптического устройства — дифракционной решётки — раскладывает свет звезды по длинам волн в радужную полоску спектра. Самое коротковолновое видимое излучение соответствует фиолето-

вому цвету, а наиболее длинноволновое — красному. По спектру нетрудно узнать, какая энергия приходит от звезды на различных длинах волн, и оценить её температуру точнее, чем по цвету. Существуют также методы определения химического состава звезды по анализу её спектра.

В начале XX в. была разработана спектральная классификация звёзд по тем спектральным линиям, которые наблюдаются в полоске спектра. Основные классы в ней обозначаются латинскими буквами (O, B, A, F, G, K, M, L). Вдоль этой последовательности уменьшается температура звёзд и меняется их цвет — от голубого к красному. Для более точной характеристики каждый класс разделён ещё на 10 подклассов, обозначаемых цифрами от 0 до 9, которые ставятся после буквы (так, за G9 следует K0). «Спектральные паспорта» звёзд выглядят следующим образом:

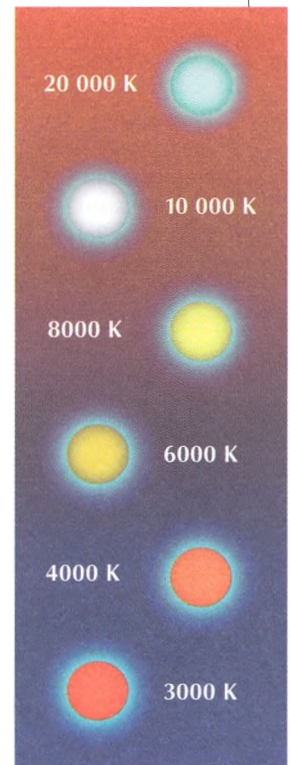
Солнце	G2
Сириус	A1
Канопус	F0
Арктур	K2
Вега	A0
Ригель	B8
Денеб	A2
Альтаир	A7
Бетельгейзе	M2
Полярная	F8

РАЗМЕРЫ ЗВЁЗД

Звёзды так далеки, что даже в самый большой телескоп они выглядят всего лишь точками. Как же узнать размер звезды?

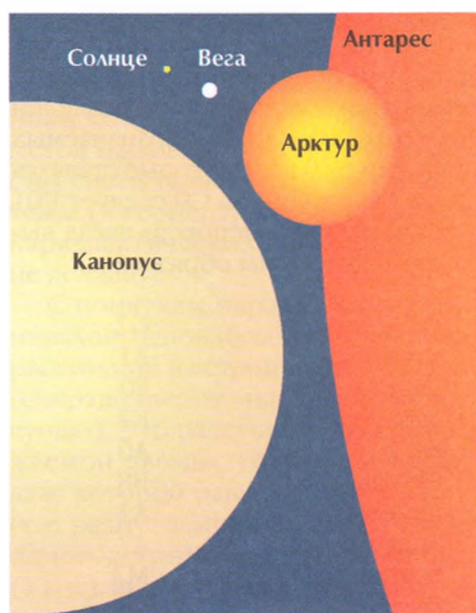
На помощь астрономам приходит Луна. Она медленно движется на фоне звёзд, по очереди «перекрывая» идущий от них свет. Хотя угловой размер звезды чрезвычайно мал, Луна заслоняет её не сразу, а за время в несколько сотых или тысячных долей секунды. По продолжительности

Температура и цвет звёзд.



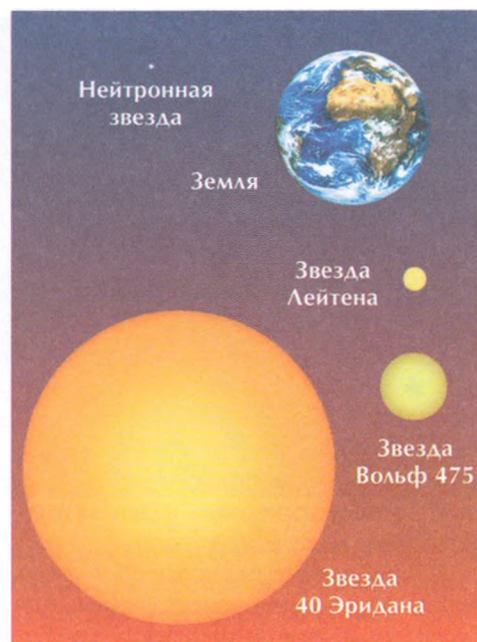


Размеры
некоторых звёзд
в сравнении
с размерами
Солнца и Земли.



процесса уменьшения яркости звезды при покрытии её Луной можно определить угловой размер звезды. А зная расстояние до звезды, из углового размера легко получить её истинные (линейные) размеры.

Но лишь небольшая часть звёзд на небе расположена так удачно для земных наблюдателей, что может покрываться Луной. Поэтому используют другие методы оценки звёздных размеров. Угловой диаметр ярких и не очень далёких светил может быть непосредственно измерен специальным прибором — оптическим



интерферометром. Радиус звезды (R) можно определить и теоретически, исходя из оценок её полной светимости (L) во всём оптическом диапазоне и температуры (T). По законам излучения нагретых тел светимость звезды пропорциональна величине $R^2 T^4$. Отсюда, сравнивая какую-либо звезду с Солнцем, получаем удобную для вычислений формулу:

$$\frac{R}{R_{\odot}} = \sqrt{\frac{L}{L_{\odot}}} \cdot \left(\frac{6000}{T} \right)^2,$$

позволяющую найти радиус звезды по её температуре и светимости («солнечные» величины $R_{\odot}$, $L_{\odot}$ и $T_{\odot} = 6000$ К хорошо известны).

Измерения показали, что самые маленькие звёзды, наблюдаемые в оптических лучах, — так называемые *белые карлики* — имеют в диаметре всего несколько тысяч километров. Размеры же наиболее крупных — *красных сверхгигантов* — таковы, что, если бы можно было поместить подобную звезду на место Солнца, большая часть планет Солнечной системы оказалась бы внутри неё.



МАССА ЗВЕЗДЫ

Самой важной характеристикой звезды является масса — она определяет практически все остальные ее свойства, а также особенности её эволюции. Прямые оценки массы могут быть сделаны только на основании закона всемирного тяготения. Такие оценки удалось получить для звёзд, входящих в двойные системы, измеряя скорости их движения вокруг общего центра масс. Другие, косвенные способы вычисления массы строятся не на законе тяготения, а на анализе тех звёздных характеристик, которые так или иначе связаны с массой. Чаще всего в этой роли выступает светимость. Для многих звёзд выполняется простое правило: чем выше светимость, тем больше масса. Эта зависимость нелинейна: например, с увеличением массы вдвое светимость возрастает более чем в 10 раз.

Массы звёзд заключены в пределах от 100 масс Солнца до 0,1 массы Солнца. (При меньшей массе температура даже в центральных областях звезды будет недостаточно высока для выработки термоядерной энергии, такие объекты окажутся слишком холодными, их нельзя причислить к звёздам.)

Таким образом, по массам звёзды могут различаться всего в тысячу раз — значительно меньше, чем по размерам или светимостям.

...

Анализируя важнейшие характеристики звёзд, сопоставляя их друг с другом, учёные смогли установить и то, что недоступно прямым наблюдениям: как устроены звёзды, как они образуются и изменяются в течение жизни, во что превращаются, растратив запасы своей энергии.

КАК УСТРОЕНА ЗВЕЗДА И КАК ОНА ЖИВЁТ

Звёзды не останутся вечно такими же, какими мы их видим сейчас. Во Вселенной постоянно рождаются новые звёзды, а старые умирают. Чтобы понять, как эволюционирует звезда, как меняются с течением времени её внешние параметры — размер, светимость, масса, необходимо проанализировать процессы, протекающие в недрах звезды. А для этого надо знать, как устроены эти недра, каковы их химический состав, температура, плотность, давление. Но наблюдениям доступны лишь внешние слои звёзд — их атмосферы. Проникнуть в глубь даже ближайшей звезды — Солнца — мы не можем. Приходится прибегать к косвенным методам: расчётам, компьютерному моделированию. При этом пользует-

ся известными законами физики и механики, общими как для Земли, так и для звёздного мира.

Условия в недрах звёзд значительно отличаются от условий в земных лабораториях, но элементарные частицы — электроны, протоны, нейтроны — там такие же, что и на Земле. Звёзды состоят из тех же химических элементов, что и наша планета. Поэтому к ним можно применять знания, полученные по экспериментам в физических лабораториях.

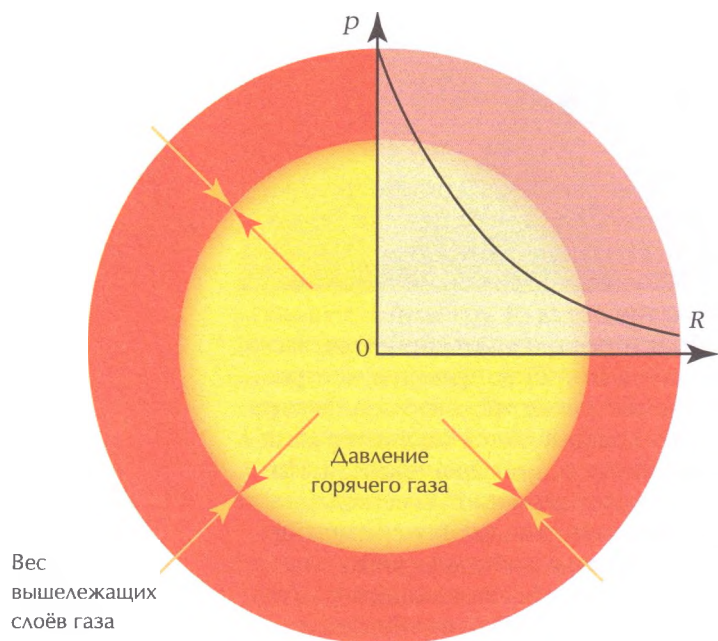
Наблюдения показывают, что большинство звёзд устойчивы, т. е. они не расширяются и не сжимаются в течение довольно длительных промежутков времени. Как устойчивое тело, звезда может существовать только в том случае, если все





действующие на её вещество внутренние силы взаимно уравновешиваются. Какие же это силы?

Звезда — раскалённый газовый шар, а основным свойством газа является стремление расшириться и занять любой предоставленный ему объём. Это стремление вызвано давлением газа и определяется его температурой и плотностью. В каждой точке внутри звезды действует сила давления газа, которая старается расширить звезду. Но в каждой же точке ей противодействует другая сила — сила тяжести вышележащих слоёв, пытающаяся сжать звезду. Однако ни расширения, ни сжатия не происходит, звезда находится в состоянии устойчивого равновесия. Это означает, что обе силы уравновешивают друг друга. А так как с глубиной вес вышележащих слоёв увеличивается, то давление, а следовательно, температура и плотность возрастают к центру звезды.



Равновесие в звезде. Сила тяжести верхних слоёв уравновешивается давлением газа, которое растёт от периферии к центру. На графике показана зависимость давления (p) от расстояния до центра (R).

Звезда излучает энергию, вырабатываемую в её недрах. Температура в звезде распределена так, что в любом слое в каждый момент времени энергия, получаемая от нижележащего слоя, равняется энергии, отдаваемой слою вышележащему. Сколько энергии образуется в центре звезды, столько же должно излучаться её поверхностью, иначе равновесие нарушится. Таким образом, к условию равновесия давления газа добавляется ещё и условие равенства излучаемой и получаемой энергии любым объёмом газа внутри звезды.

Лучи, испускаемые звездой, получают свою энергию в недрах, где располагается её источник, и продвигаются через всю толщу звезды наружу, оказывая давление на внешние слои. Если бы звёздное вещество было прозрачным, то продвижение это осуществлялось бы почти мгновенно, со скоростью света. Но оно непрозрачно и тормозит прохождение излучения. Световые лучи поглощаются атомами и вновь испускаются уже в других направлениях. Путь каждого луча сложен и напоминает запутанную зигзагообразную кривую. Иногда он «блуждает» многие тысячи лет, прежде чем выйдет на поверхность и покинет звезду.

Излучение, покидающее поверхность звезды, качественно (но не количественно) отличается от излучения, рождающегося в источнике звёздной энергии. По мере движения наружу длина волны света увеличивается. Поверхность Солнца, например, излучает в основном световые и инфракрасные лучи, а в его недрах возникает коротковолновое рентгеновское и гамма-излучение. Давление излучения для Солнца и подобных ему звёзд составляет лишь очень малую долю от давления газа, но для гигантских звёзд оно значительно.

Оценки температуры и плотности в недрах звёзд получают теоретическим путём, исходя из известной мас-

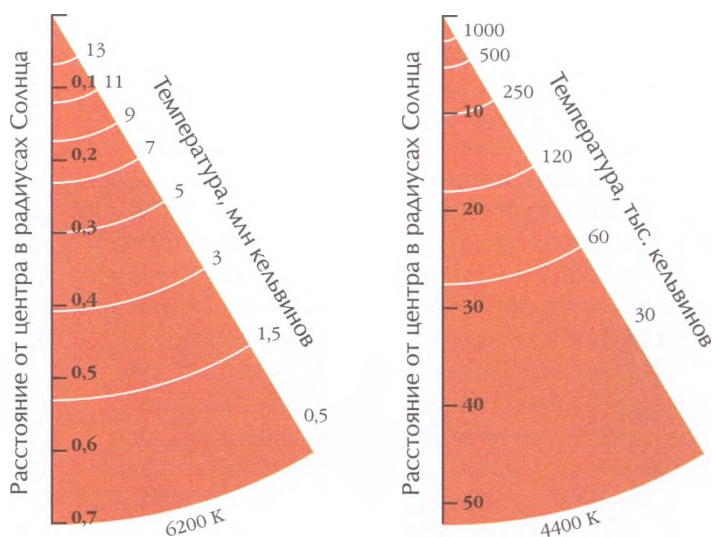


сы звезды и мощности её излучения, на основании газовых законов физики и закона всемирного тяготения. Определённые таким образом температуры в центральных областях звёзд составляют от 10 млн градусов (кельвинов) для звёзд легче Солнца до 30 млн градусов для гигантских звёзд. Температура в центре Солнца — около 15 млн градусов.

При таких температурах вещество в звёздных недрах почти полностью ионизовано. Атомы химических элементов теряют свои электронные оболочки, газ состоит только из атомных ядер и отдельных электронов. Поскольку поперечник атомного ядра в десятки тысяч раз меньше поперечника целого атома, то в объёме, вмещающем всего десяток целых атомов, могут свободно уместиться многие миллиарды атомных ядер и отдельных электронов. При этом расстояния между частицами, несмотря на высокую плотность вещества, будут всё ещё велики по сравнению с их размерами. Вот почему вещество, плотность которого в центре Солнца в 100 раз превышает плотность воды, — во много раз более плотное, чем любое твёрдое тело на Земле! — тем не менее обладает всеми свойствами идеального газа.

Давление газа пропорционально произведению концентрации частиц на температуру. Поэтому температура внутри звезды тем ниже, чем больше концентрация частиц в газе, т. е. чем меньше его средняя молекулярная масса. Чисто водородное Солнце, например, имело бы температуру в центре 10 млн градусов, гелиевое — 26 млн градусов, а состоящее целиком из более тяжёлых элементов — 40 млн градусов.

Чтобы получить представление о структуре звезды, пользуются методом последовательных приближений. Задавая некоторое соотношение водорода, гелия и более тяжёлых элементов и зная массу звезды, вы-



Изменение температуры в зависимости от расстояния от центра для звезды главной последовательности (слева) и красного гиганта (справа).

числяют её светимость. Эту процедуру повторяют до тех пор, пока для определённой смеси вычисленная и полученная из наблюдений светимости не совпадут. Данный состав и считается наиболее близким к реальному. Оказалось, что для большинства звёзд на долю водорода и гелия приходится не менее 98 % массы. В своё время это открытие явилось неожиданным: ведь в спектрах звёзд самые сильные и многочисленные линии принадлежат, как правило, другим элементам.

Определение химического состава и физических условий в центральных частях звёзд позволило решить вопрос об источниках звёздной энергии. При температуре 10—30 млн градусов и наличии большого числа ядер водорода протекают термоядерные реакции, в результате которых образуются ядра различных химических элементов. Не все возможные ядерные реакции годятся на роль источников звёздной энергии, а только такие, которые выделяют достаточно большую энергию и могут продолжаться в течение нескольких



ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА — РАССЕЛА

В конце XIX — начале XX в. в астрономию вошли фотографические методы количественных оценок видимого блеска (звёздных величин) звёзд и их цветовых характеристик (показателей цвета). Анализ этих параметров очень скоро привёл к открытию физической закономерности, связывающей наблюдаемые характеристики звёзд.

Первый шаг был сделан в 1905—1907 гг. датским астрономом Эйнаром Герцшпрунгом на основе фотометрических измерений ярких звёзд двух сравнительно близких звёздных скоплений — Плеяды и Гиады. Он обнаружил, что голубые звёзды в каждом скоплении имеют самую высокую яркость, а среди красных звёзд можно выделить слабые и сравнительно яркие. Иными словами, на диаграмме, где сопоставляются звёздная величина и цвет звёзд скоплений, звёзды разбиваются на отдельные группировки. Поскольку звёзды каждого скопления находятся от нас примерно на одинаковом расстоянии, видимая яркость, измеряемая в звёздных величинах, характеризует светимость звёзд. Следовательно, цвет и светимость звёзд каким-то образом соотносятся друг с другом.

Но цвет звезды зависит от её температуры (чем звезда горячее, тем она голубее), которая, в свою очередь, тесно связана с видом звёздного спектра, т. е. спектральным классом, определяемым непосредственно из наблюдений. В 1913 г. американский астроном Генри Рассел сопоставил светимость различных звёзд с их спектральными классами. На диаграмму спектр — светимость он нанёс все звёзды с известными в то время расстояниями (не зная расстояния, невозможно оценить светимость звезды). С тех пор сходные по своему значению диаграммы цвет — светимость, спектр — свети-

мость и температура — светимость часто называют диаграммами Герцшпрунга — Рассела.

На диаграмме Герцшпрунга — Рассела звёзды образуют отдельные группировки, именуемые последовательностями. Самая густонаселённая из них — главная последовательность — включает в себя около 90 % всех наблюдаемых звёзд (в том числе и наше Солнце). Она тянется по диагонали: от левого верхнего края диаграммы, где сосредоточены голубые горячие звёзды высокой светимости, вправо вниз — к области, занимаемой тусклыми красными звёздами. Справа над нижней частью главной последовательности располагается ветвь гигантов, объединяющая преимущественно красные звёзды большого размера, светимость которых в десятки и сотни раз превосходит солнечную. Среди этих ярких звёзд на ветви гигантов — Арктур, Альдебаран, Дубхе (α Большой Медведицы). На самом верш диаграммы почти горизонтально через все спектральные классы проходит последовательность звёзд-сверхгигантов. К ней принадлежат, например, Полярная звезда, Ригель, Бетельгейзе. Красные сверхгиганты — это крупнейшие по размеру звёзды. А внизу, в области высоких температур и низких светимостей, располагаются крошечные белые карлики. Известны и другие последовательности, но они не столь многочисленны.

Как только обнаружилось существование последовательностей, делались попытки их физической интерпретации. Сначала главная последовательность рассматривалась как совокупность звёзд различного возраста, т. е. как путь на диаграмме, по которому большинство звёзд перемещается в течение своей жизни, уменьшая с возрастом свои светимость и температуру. Однако в действительности оказалось, что вдоль главной последовательности располагаются звёзды различных масс, у которых источником энергии является реакция

миллиардов лет жизни звезды типа Солнца.

После длительных поисков было установлено, что звёзды большую часть своей жизни светят за счёт совершающихся в них преобразований ядер водорода (протонов) в ядра гелия (альфа-частицы): из

четырёх протонов образуется одна альфа-частица. Масса четырёх протонов больше массы ядра гелия, этот избыток массы и превращается в энергию в термоядерных реакциях. Такая реакция идёт медленно и поддерживает свечение звезды на протяжении миллиардов лет.



превращения водорода в гелий. Чем массивнее звезда, тем выше её температура и светимость, а значит, выше и её место на главной последовательности.

На главной последовательности любая звезда проводит большую часть своей жизни, именно поэтому на ней так много звёзд. Согласно теории звёздной эволюции, когда запасы водорода в недрах звезды заканчиваются, она покидает главную последовательность, отклоняясь вправо и вверх. Её температура падает, а светимость и размер быстро возрастают. Начинается сложное, всё более ускоряющееся движение звезды по диаграмме.

Диаграмма Герцшпрунга — Рассела широко применяется астрономами для описания эволюционных изменений звёзд и сопоставления теорий эволюции звёзд с наблюдениями. Удобна она и для определения возрастов звёздных скоплений (на основании теории эволюции), так как с возрастом населённость различных последовательностей меняется. Так, в молодых скоплениях много звёзд высокой светимости на главной последовательности и последовательности сверхгигантов. В старых же скоплениях верхний конец главной последовательности «исчезает» (звёзды успевают сойти с неё), но зато очень многочисленна ветвь гигантов, куда попадают звёзды типа Солнца примерно через 10 млрд лет после своего рождения. Зависимость Герцшпрунга — Рассела часто используется и для уточнения относительных расстояний до звёздных скоплений путём сравнения положений последовательностей звёзд скоплений на диаграммах цвет — видимая звёздная величина.

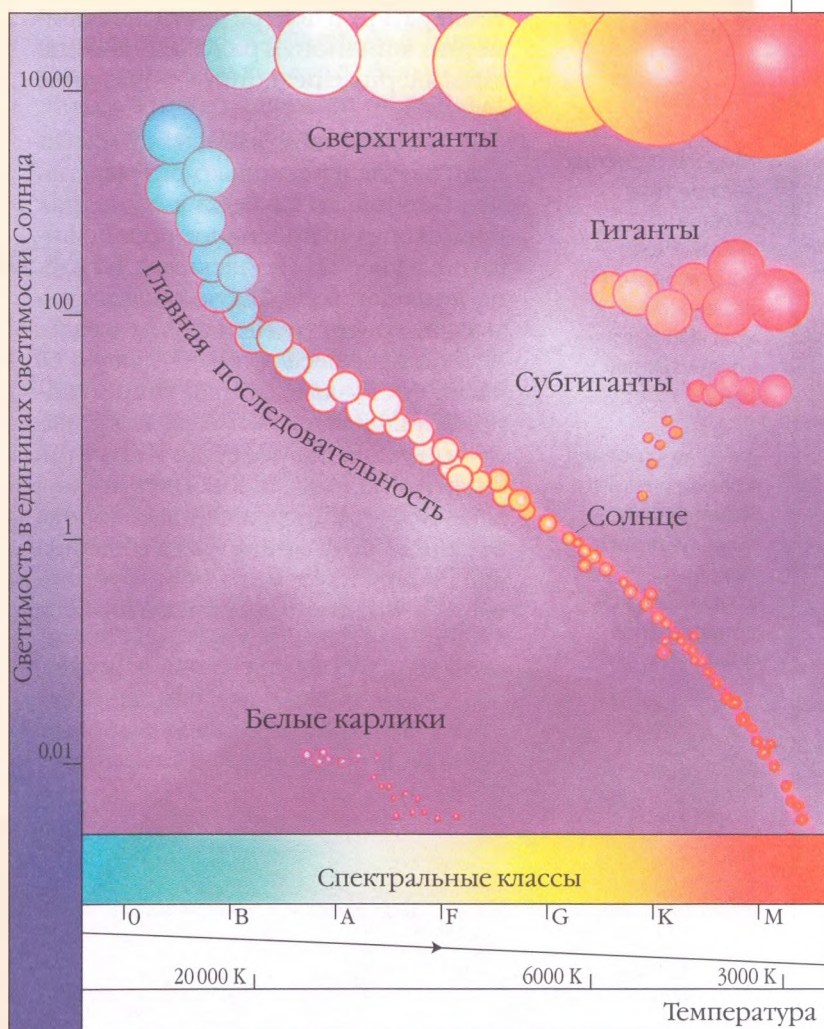
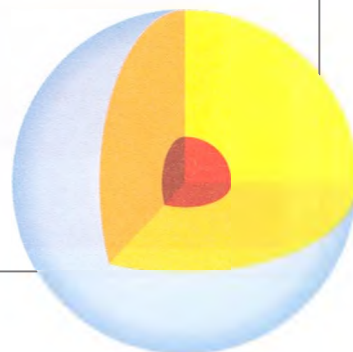


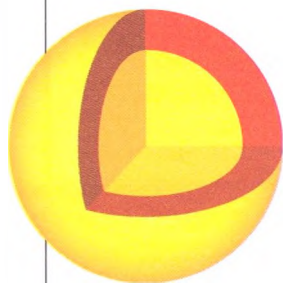
Диаграмма Герцшпрунга — Рассела. Показаны основные последовательности, образуемые звёздами.



Модель строения звезды нижнего участка главной последовательности (красный карлик). Жёлтый цвет — зона лучистого переноса, красный цвет — конвективная зона.

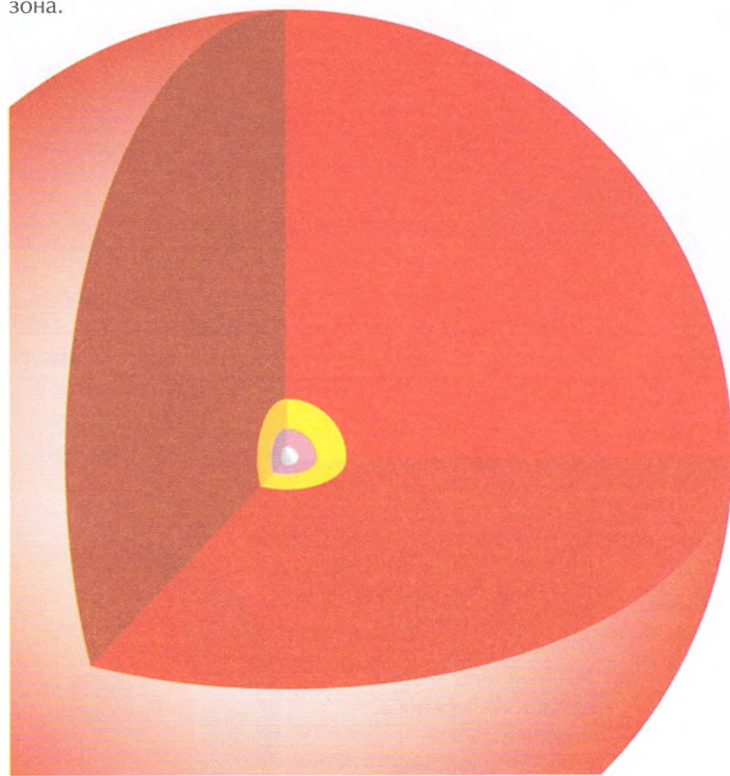
Модель строения звезды верхнего участка главной последовательности (голубой гигант). Жёлтый цвет — зона лучистого переноса, красный цвет — конвективная зона.





Модель строения звезды типа Солнца. Жёлтый цвет — зона лучистого переноса, красный цвет — конвективная зона.

Модель строения красного гиганта. Жёлтый цвет — зона лучистого переноса, красный цвет — конвективная зона.



Звёзды образуются из космических газопылевых облаков. При сжатии под действием тяготения газового шара его внутренняя часть постепенно разогревается. Когда температура в центре достигнет примерно миллиона градусов, начинаются ядерные реакции — образуется звезда.

Строение звёзд зависит от массы. Если звезда в несколько раз массивнее Солнца, то глубоко в её недрах происходит интенсивное перемешивание вещества (конвекция), подобно кипящей воде. Такую область называют конвективным ядром звезды. Чем больше звезда, тем большую её часть составляет конвективное ядро. Остальная часть звезды сохраняет при этом равновесие. Источник энергии находится в конвективном ядре. По мере превращения водорода в гелий молекулярная масса вещества ядра возрастает, а его объём уменьшается. Внешние же области звезды

при этом расширяются, она увеличивается в размерах, а температура её поверхности падает. Горячая звезда — голубой гигант — постепенно превращается в красный сверхгигант. Его строение уже иное. Когда в процессе сжатия конвективного ядра весь водород превратится в гелий, температура в центре повысится до 50—100 млн градусов и начнётся горение гелия. Он в результате ядерных реакций превращается в углерод. Ядро горящего гелия окружено тонким слоем горящего водорода, который поступает из внешней оболочки звезды. Следовательно, у таких звёзд два источника энергии. Над горящим ядром находится протяжённая оболочка.

В дальнейшем ядерные реакции создают в центре массивной звезды всё более тяжёлые элементы, вплоть до железа. Синтез элементов тяжелее железа уже не приводит к выделению энергии. Лишённое источников энергии, ядро звезды быстро сжимается. Это может повлечь за собой взрыв — вспышку сверхновой. Иногда при взрыве звезда полностью распадается, но чаще всего, по-видимому, остаётся компактный объект — нейтронная звезда или чёрная дыра.

Вместе с оболочкой взрыв уносит в межзвёздную среду различные химические элементы, образовавшиеся в недрах звезды за время её жизни. Новое поколение звёзд, рождающихся из межзвёздного газа, будет содержать уже больше тяжёлых химических элементов.

В звёздах-карликах, массы которых меньше массы Солнца, конвективное ядро отсутствует. Водород в них горит, превращаясь в гелий, в центральной области, не выделяющей из остальной части звезды наличием конвективных движений. В карликах этот процесс протекает очень медленно, и они практически не изменяются в течение миллиардов



лет. Когда водород полностью сгорит, они медленно сжимаются и за счёт энергии сжатия могут существовать ещё очень длительное время.

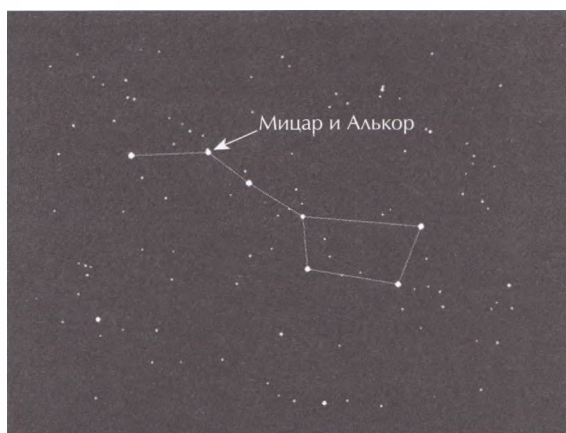
Солнце и подобные ему звёзды представляют собой промежуточный случай. У Солнца имеется маленькое конвективное ядро, но не очень чётко отделённое от остальной части. Ядерные реакции горения водорода могут продолжаться более 10 млрд

лет. Современный возраст Солнца примерно 4,5—5 млрд лет, и за это время оно почти не изменило своего размера и яркости. После исчерпания водорода Солнце постепенно будет раздуваться, пока не превратится в красный гигант, сбросит чрезмерно расширившуюся оболочку и закончит свою жизнь плотным белым карликом. Но это случится не раньше, чем через 5 млрд лет.

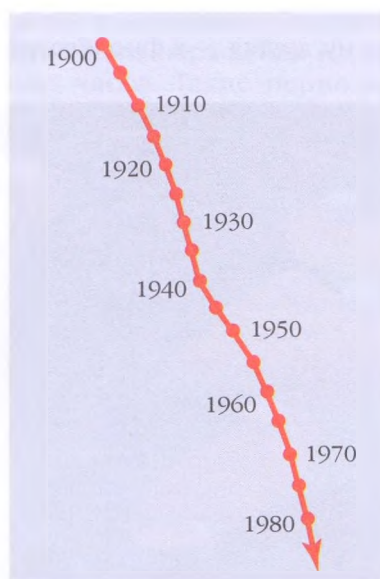
ДВОЙНЫЕ И КРАТНЫЕ ЗВЁЗДЫ

С древнейших времён астрономам были известны звёзды, которые видны на небе близко друг к другу. Наиболее известная пара, видимая невооружённым глазом, — Мицар и Алькор в Большой Медведице, по которой хорошо проверять остроту зрения. С началом эры телескопических наблюдений обнаружилось, что многие звёзды, видимые невооружённым глазом как одиночные, в телескоп видны как двойные или даже как системы более высокой кратности (пример — ϵ Лиры, сис-

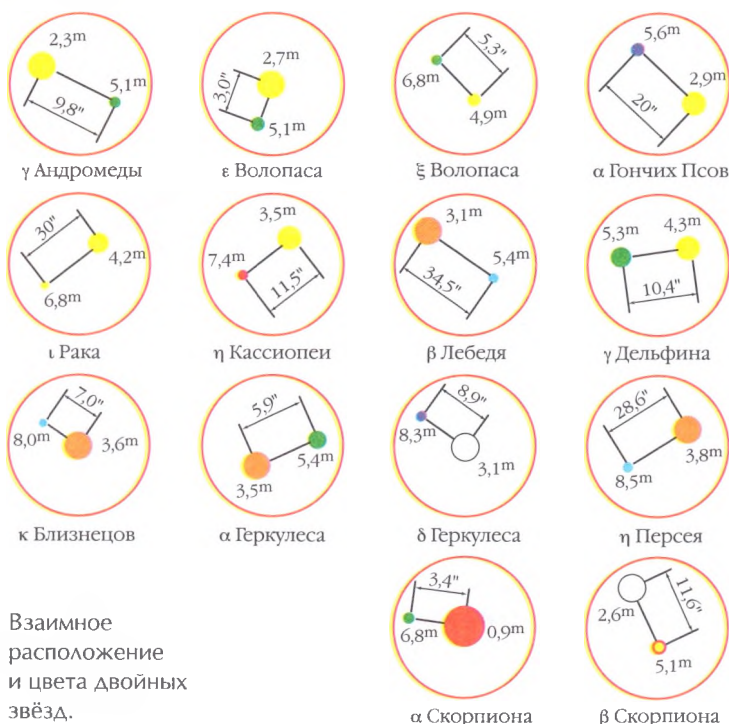
тема из четырёх звёзд). Довольно быстро выяснилось, что многие двойные и кратные звёзды движутся вокруг общего центра масс, т. е. составляют физически связанные системы. Такие системы получили название визуально-двойные звёзды (визуально — значит это можно наглядно видеть). В XIX в., когда начались спектроскопические наблюдения, были открыты спектрально-двойные звёзды. Хотя даже в самые крупные телескопы они могут быть видны как одиночные (просто по-



Созвездие Большой Медведицы. Мицар — вторая звезда в «ручке» Ковша. Рядом с ней видна маленькая звёздочка Алькор. Это одна из немногих звёздных пар, различимых невооружённым глазом.

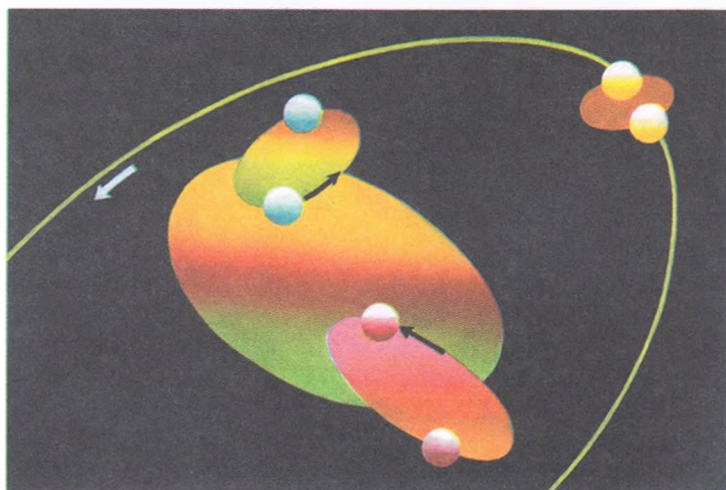


Траектория движения Сириуса. Её вид говорит о наличии у звезды массивного спутника.



Кастор (α Близнецов) — шестикратная звезда. Показаны плоскости, в которых лежат орбиты звёзд.

тому, что угловое расстояние между компонентами меньше разрешающей способности телескопа), в их спектре наблюдаются две системы линий поглощения, относящиеся к разным звёздам, и эти линии периодически смещаются в противофазе (т. е. когда одна движется в красную сторону, другая — в фиолетовую) из-за



эффекта Доплера, вызванного обращением компонентов вокруг общего центра масс. Спектрально-двойных звёзд — большинство среди двойных, и только достаточно близкие или очень широкие пары видны как визуально-двойные.

По современным представлениям, большинство звёзд входит в состав кратных и двойных систем, так что одиночные звёзды (в том числе и наше Солнце) — скорее исключение из правила. Это связано с особенностью процесса образования звёзд в плотных холодных газопылевых облаках — в общем случае гравитационное сжатие приводит к разделению (фрагментации) облака на отдельные сжимающиеся части, движущиеся вокруг общего центра масс, а одиночные звёзды, по-видимому, выбрасываются из скопления молодых звёзд при гравитационном взаимодействии с другими членами скопления.

Однако самыми интересными с астрофизической точки зрения оказались тесные двойные системы — пары настолько тесные (расстояние между центрами масс компонентов всего в несколько раз больше суммы их радиусов), что приливные силы искажают форму поверхности одной звезды, а в некоторых случаях обеих звёзд. Из-за этого форма звезды становится «грушевидной», вытянутой в сторону другого компонента. При этом становится возможным совершенно новый физический процесс, который не происходит в широких парах, — обмен массами между звёздами, когда частицы с поверхности наиболее искажённой приливами звезды (большого радиуса, однако не обязательно большей массы!) «срываются» в виде газового потока с «гребня» приливного горба и присоединяются ко второй звезде, увеличивая её массу.

Из-за возможности переноса масс эволюция тесных двойных звёзд

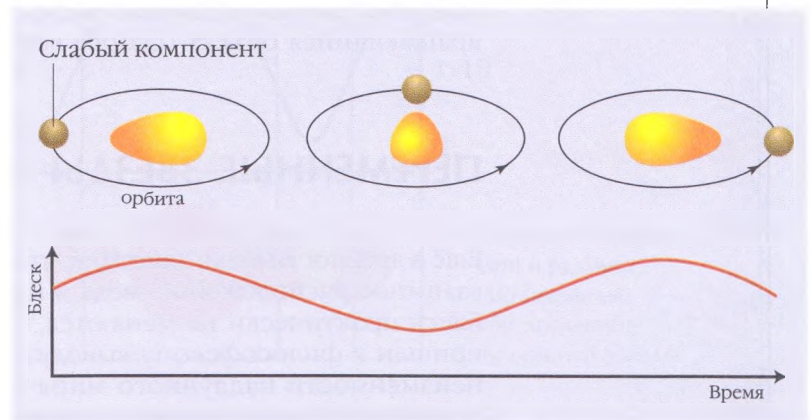


сильно отличается от эволюции одиночных. До обмена масс компоненты двойной системы эволюционируют независимо, причём быстрее эволюция происходит у более массивной звезды. Когда более массивная, или, как говорят, первичная звезда увеличивает свой радиус в процессе эволюции, приливные силы со стороны второго компонента начинают искажать её форму, и при некотором критическом размере звезды (он называется размером полости Роша) начинается перенос массы с более массивной на менее массивную звезду. При этом может произойти «смена ролей» — изначально менее массивная (вторичная) звезда становится более массивной, и наблюдается система типа Алголя (β Персея), где более массивная звезда ещё находится на главной последовательности, а менее массивная звезда уже проэволюционировала и сошла с главной последовательности. Этот видимый парадокс (ведь более массивные звёзды меньше «живут» на главной последовательности!), так называемый парадокс Алголя, и был впервые объяснён как результат обмена массами в тесной двойной системе.

Наиболее яркие проявления обмена массами происходят в тесных двойных системах, одним из компонентов которых является компактная звезда — остаток звёздной эволюции (белый карлик, нейтронная звезда или чёрная дыра). Падающий на них газовый поток закручивается в плотный диск (так называемый аккреционный диск), разогревается до огромных температур и излучает в жёстком ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах. Так возникают рентгеновские двойные звёзды. Их несколько разновидностей: это рентгеновские пульсары или рентгеновские барстеры — если газ падает на нейтронные звёзды, взрывные переменные (новые звёзды, карликовые новые и т. д.) — если газ падает на белый карлик, или же так называ-

емые микроквазары — рентгеновские двойные с релятивистскими струями типа объекта SS 433 — если газ падает на чёрную дыру. (Подробнее об этих звездах см. в статьях «Взрывающиеся звёзды» и «Рентгеновская и гамма-астрономия».)

На поздних стадиях эволюции от массивных тесных двойных систем могут остаться пары нейтронных звёзд или даже чёрных дыр.



Двойные нейтронные звёзды были открыты в 1975 г. как двойные радиопульсары. Сейчас таких пар известно около десяти. Это очень тесные системы. Масса каждой звезды немного больше, чем у Солнца, а период их орбитального обращения всего несколько часов. Такие периоды соответствуют расстояниям между компонентами порядка солнечного радиуса, а скорости орбитального движения должны составлять тысячи километров в секунду! При таких скоростях в движении заметными становятся эффекты, предсказываемые общей теорией относительности, которые нельзя объяснить в рамках классической механики (поворот большой оси орбиты, релятивистский эффект Доплера, а также постепенное уменьшение орбитального периода обращения, вызванное потерей энергии системы вследствие излучения гравитационных волн.

Изменение блеска несферической переменной звезды.



Двойные пульсары — настоящие природные лаборатории, позволяющие проверять фундаментальные физические законы. За измерение релятивистских эффектов в двойном пульсаре 1913+16 авторам открытия Дж. Тейлору и Р. Халсе в 1992 г. была присуждена Нобелевская премия по физике.

Из-за излучения гравитационных волн двойные нейтронные звёзды (а также чёрные дыры) должны неминуемо слиться в единый быстро вращающийся объект (скорее все-

го, чёрную дыру). При этом можно ожидать выделения колоссальной энергии порядка 10^{46} Дж, преимущественно в виде короткого всплеска гравитационных волн. Именно такие всплески ищут современные гравитационно-волновые детекторы (LIGO, VIRGO). Не исключено, что слияния двойных нейтронных звёзд в далеких галактиках являются источниками коротких космических гамма-всплесков (см. сюжет «Гамма-всплески» к статье «Взрывающиеся звёзды»).

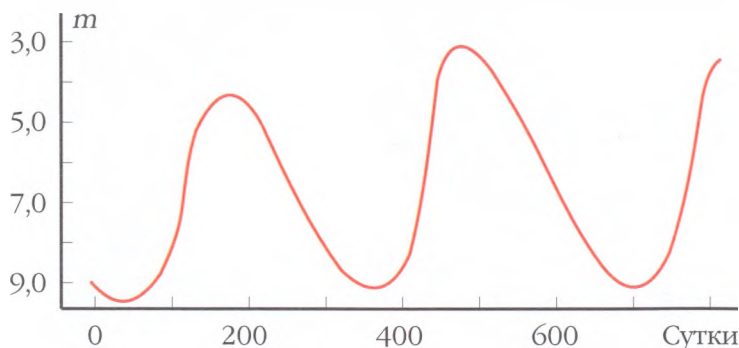
ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ

Ещё в древности люди заметили, что взаимное расположение звёзд и их блеск практически не меняются, и пришли к философскому выводу о неизменности надлунного мира в противоположность миру подлунному. Выводу этому, однако, противоречили некоторые давно известные, хотя и нечасто наблюдавшиеся явления. Изредка на небе появлялись новые звёзды: они вспыхивали, иногда достигая необыкновенно яркого блеска (даже ярче Сириуса, а то и Венеры!), а потом в течение нескольких недель или месяцев полностью угасали. Можно предположить, что

именно исчезновение «нарушителей» успокаивало древних философов, позволяя считать эти звёзды «ненастоящими».

То, что в старину называли новыми звёздами, сейчас относят к одной из двух важных разновидностей переменных — новым либо сверхновым. Вплоть до XVI в. никаких других переменных звёзд учёные не знали. Существует, правда, не очень убедительная легенда, что название звезды Персея — Алголь (араб. «звезда дьявола») — появилось из-за якобы замеченной древними арабами (и хорошо известной сегодня) её переменности.

В 1596 г. немецкий астроном Давид Фабрициус открыл новую звезду 2-й звёздной величины в созвездии Кита. Он некоторое время следил за ней, и, как обычно, новая бесследно исчезла. Но неожиданно в 1609 г. Фабрициус опять нашёл её на небе! Так впервые была обнаружена переменная звезда, которая очень сильно меняла свой блеск: иногда становилась невидимой для невооружённого глаза, иногда ярчала вновь, но не пропадала навсегда. Интересно, что в промежутке между двумя откры-



Изменение блеска (m) Миры Кита. Обращает на себя внимание значительная амплитуда переменности и большая продолжительность периода.

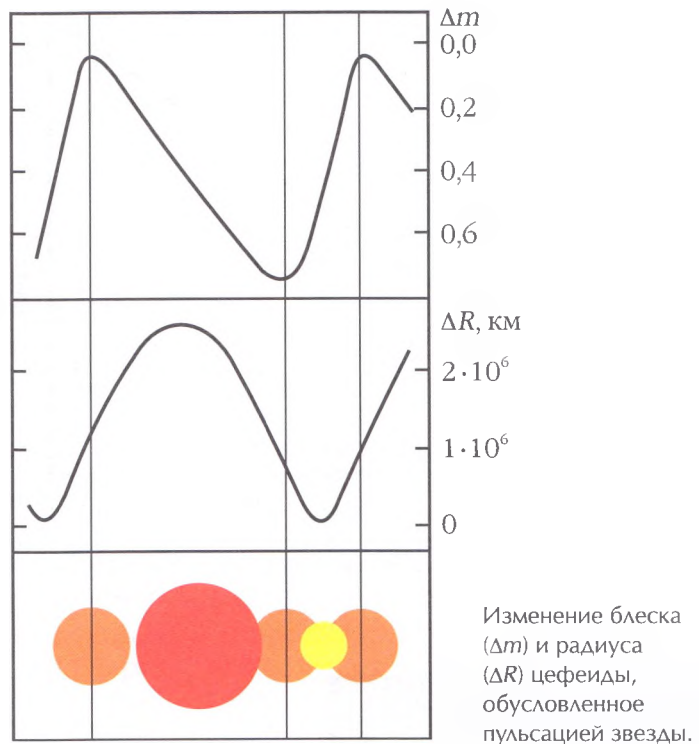


тиями Фабрициуса, в 1603 г., ту же звезду наблюдал другой немецкий астроном — Иоганн Байер, автор первого полного звёздного атласа неба. Он не заметил переменности, зато нанёс звезду на карту своего атласа под именем Омикрон Кита. Другое её название — Мира Кита, или просто Мира (*лат.* «удивительная»).

Итак, *переменные звёзды* — это звёзды, блеск которых меняется по причинам, не связанным с земной атмосферой. До сих пор астрономы не пришли к единому мнению, какого минимального изменения блеска достаточно для того, чтобы причислить звезду к данному классу. Поэтому в каталоги переменных звёзд заносят все звёзды, у которых достоверно выявлены даже очень незначительные колебания блеска. К концу XX в. в нашей Галактике было известно несколько десятков тысяч переменных звёзд (примечательно, что около 10 тыс. из них открыл один человек — немецкий астроном Куно Хофмейстер). Благодаря современным точным методам наблюдений, позволяющим автоматически следить за небом, счет известным переменным звёздам сейчас уже пошёл на сотни тысяч, а очень скоро пойдёт на миллионы. Количество переменных звёзд, обнаруженных в других галактиках, тоже очень велико.

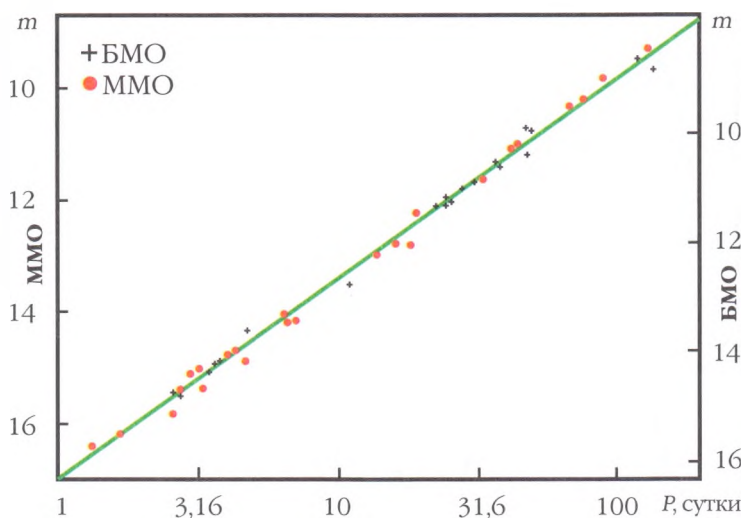
ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД

Переменные звёзды различаются массой, размерами, возрастом, причинами переменности и подразделяются на несколько больших групп. Одна из них — *пульсирующие звёзды*, изменения блеска которых обусловлены колебаниями размеров, приводящими и к изменениям температуры. К ним принадлежат звёзды *типа Мира*, или *мириды*, —

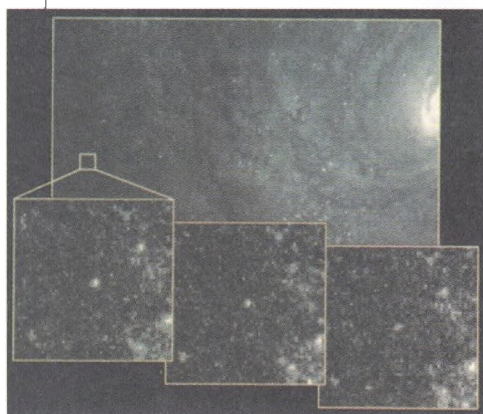


красные гиганты, меняющие блеск на несколько звёздных величин с периодами от нескольких месяцев до полутора лет.

Среди пульсирующих звёзд очень интересны *цефеиды*, названные так по имени одной из первых переменных этого типа, δ Цефея, открытой ещё в XVIII в. Цефеиды — это звёзды высокой светимости и умеренной температуры (жёлтые сверхгиганты). На определённой глубине у них существует слой, содержащий много ионизованного гелия, который способен аккумулировать энергию излучения, приходящую из недр, а потом вновь отдавать её. Благодаря этому происходит «раскачка» колебаний звезды. Звезда периодически сжимается, разогреваясь, и расширяется, охлаждаясь. При этом энергия излучения то поглощается звёздным газом, ионизуя его, то опять выделяется, когда при охлаждении газа ионы захватывают электроны, излучая при этом световые кванты.



Зависимость среднего блеска (m) цефеид в Большом и Малом Магеллановых Облаках (БМО и ММО) от периода переменности (P). Используется для определения расстояний до звёзд.



Изменение блеска цефеиды в галактике М 100. Три больших квадрата соответствуют трём моментам времени, цефеида — в центре каждого из них. Съёмка космического телескопа «Хаббл».

В результате блеск цефеиды меняется, как правило, в несколько раз с периодом в несколько суток. Физику пульсаций цефеид впервые успешно объяснил в 1950-х гг. советский учёный С. А. Жевакин.

Цефеиды играют особую роль в астрономии. В 1908 г. американский астроном Генриетта Ливитт, исследовавшая цефеиды в одной из ближайших галактик — Малом Магеллановом Облаке, обратила внимание на то, что эти звёзды оказывались тем ярче, чем продолжительнее был период изменения их блеска. Размеры

Малого Магелланова Облака небольшие по сравнению с расстоянием до него, а это означает, что разница в видимом блеске отражает отличие в светимости. Благодаря найденной Ливитт зависимости период — светимость легко рассчитать расстояние до каждой цефеиды, измерив её средний блеск и период переменности. А так как сверхгиганты хорошо заметны, цефеиды можно использовать для определения расстояний даже до сравнительно далёких галактик, в которых они наблюдаются.

Есть и вторая причина особой роли цефеид. В 1960-х гг. советский астроном Юрий Николаевич Ефремов установил, что чем продолжительнее период цефеиды, тем моложе эта звезда. По зависимости период — возраст нетрудно определить возраст каждой цефеиды. Отбирая звёзды с максимальными периодами и изучая звёздные группировки, в которые они входят, астрономы исследуют самые молодые структуры Галактики.

Цефеиды, наверное, больше других пульсирующих звёзд заслуживают названия периодических переменных. Каждый следующий цикл изменений блеска обычно весьма точно повторяет предыдущий. Однако встречаются и исключения, самое известное из них — Полярная звезда. Уже давно обнаружено, что она относится к цефеидам, хотя и меняет блеск в довольно незначительных пределах. Но в XX в. эти колебания стали затухать, и к середине 1990-х гг. звезда почти перестала пульсировать. Многие полагали, что навсегда, но сейчас размах колебаний блеска Полярной вновь нарастает.

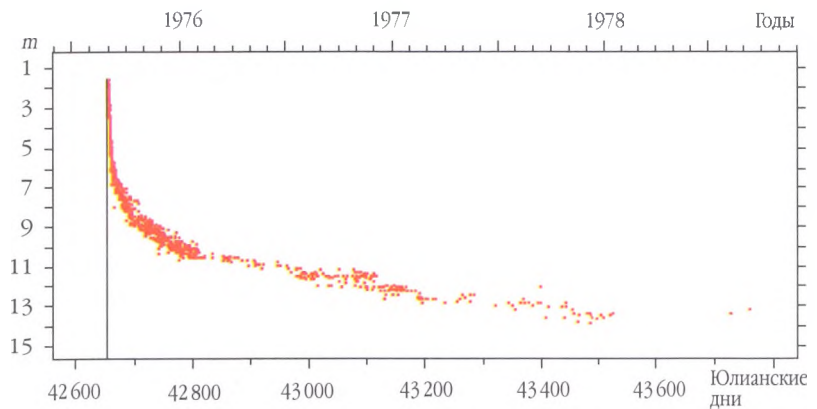
Кроме цефеид и мирид есть немало других типов пульсирующих звёзд. Некоторые из них в противоположность цефеидам принадлежат к самым старым представителям звёздного населения. Так, пульсирующие переменные *мина RR Лиры* во



множестве встречаются в шаровых звёздных скоплениях, возраст которых свыше 12 млрд лет.

Пульсирующая звезда в определенном смысле подобна колеблющемуся пружинному маятнику; аналогом жёсткости пружины при этом является средняя плотность вещества звезды. Звёзды эволюционируют: меняются их размеры, а следовательно, и средняя плотность. Всё это отражается на частоте колебаний «звёздной пружины», которая оказывается пропорциональной квадратному корню из средней плотности. Систематически измеряя блеск пульсирующей звезды, нетрудно с высокой точностью определить период колебаний. А по изменению периода можно понять, какой этап эволюции переживает звезда.

Пристальное внимание астрофизиков привлекают не только пульсирующие переменные. Так называемые *взрывные* (или *катаклизмические*) звёзды — пример сложных процессов в двойных звёздных системах, где расстояние между компонентами ненамного превосходит их размеры. В результате взаимодействия компонентов вещество из поверхностных слоёв менее плотной из звёзд начинает перетекать на другую звезду. В большинстве взрывных переменных та звезда, на которую перетекает газ, — белый карлик. Если на его поверхности накапливается много богатого водородом вещества и резко начинаются термоядерные реакции, то наблюдается вспышка *новой* звезды. В видимой области спектра блеск при этом возрастает не менее чем на шесть звёздных величин, а иногда и гораздо сильнее (вспыхнувшая в 1975 г. новая V1500 Лебеда увеличила свой блеск примерно на 19 звёздных величин!). (Напомним, что разница в одну звёздную величину означает отличие освещённости примерно в 2,5 раза.) Полная продолжительность вспышки новой — порядка го-



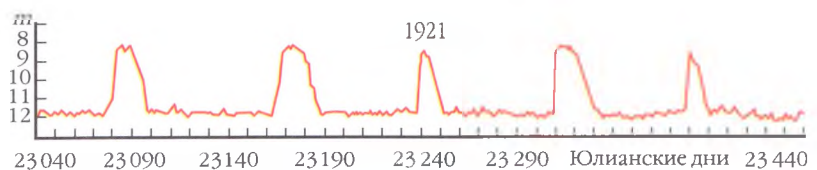
да и больше. Даже при таких мощных вспышках двойная система не разрушается, и спустя века или тысячелетия новая может вспыхнуть вновь.

Изменение
блеска новой
звезды
V1500 Лебеда.

Но и без таких бурных процессов тесная двойная система может быть интересной переменной звездой. Перетекающее вещество не сразу падает на поверхность белого карлика. Если он не обладает сильным магнитным полем, газ образует вокруг белого карлика диск. Этот диск нестабилен, вследствие чего у звезды могут отмечаться вспышки, только менее масштабные, чем у новых, и гораздо меньшей продолжительности (обычно несколько суток от возгорания до затухания). Такие переменные называют *карликовыми новыми* или переменными *типа U Близнецов*. Если же у белого карлика сильное магнитное поле, вещество падает на звезду в области полюсов и характер переменности становится ещё сложнее.

При внешнем сходстве со вспышкой новой явление *сверхновой* звезды имеет совсем иную природу: вероятно, это один из последних этапов жизни звезды, когда она катастрофи-

Изменение
блеска звезды
U Близнецов.





чески сжимается, лишившись основных источников термоядерной энергии (см. статью «Конец жизненного пути звезды»).

Если в двойной системе, подобной новым или карликовым новым звёздам, вместо белого карлика находится нейтронная звезда или чёрная дыра, система тоже может наблюдаться как переменная звезда, и при этом она окажется сильным источником рентгеновского излучения. Открыв новый рентгеновский источник, астрономы нередко находят в той же области неба переменную звезду в оптическом диапазоне, которая и испускает рентгеновские лучи. Изучая белые карлики, нейтронные звёзды и чёрные дыры в системах переменных звёзд, астрофизики исследуют вещество в состояниях, которые невозможно воспроизвести в физической лаборатории.

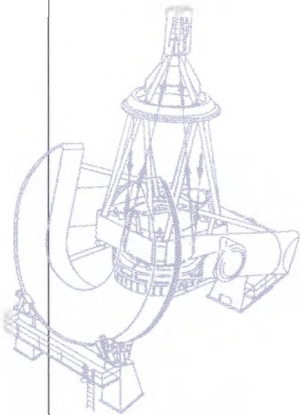
Особая группа переменных — самые молодые звёзды, сравнительно недавно (по космическим масштабам) сформировавшиеся в областях концентрации межзвёздного газа. Такие звёзды впервые обнаружил в XIX в. русский астроном Отто Васильевич Струве в огромном комплексе вокруг туманности Ориона, поэтому их стали называть *орионовыми переменными*. Сейчас их чаще именуют *переменными типа Т Тельца*, по одной из известных молодых переменных звёзд. Орионовы переменные часто меняют блеск беспорядочным образом, но иногда у них прослеживается и периодичность, связанная с вращением вокруг оси.

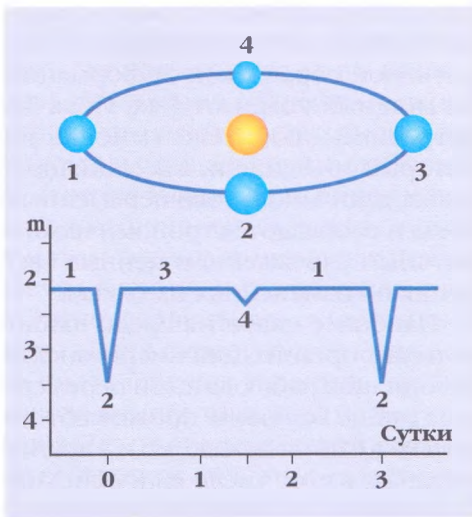
Мы знаем всего два-три десятка звёзд, принадлежащих к интересному *типу R Северной Короны*, характерный признак которого, образно говоря, «вспышки наоборот». Звезда, давшая название этой разновидности переменных, иногда неожиданно падает в блеске на несколько (до восьми) звёздных величин, а потом медленно, в течение недель или даже

месяцев, восстанавливает прежний блеск. Атмосферы таких звёзд имеют необычный химический состав: в них практически отсутствует самый распространённый во Вселенной элемент — водород, зато много гелия и углерода. Предполагается, что углерод конденсируется в потоках вещества, истекающего с поверхности звезды, образуя сажу, которая и поглощает излучение. У некоторых звёзд типа R Северной Короны зарегистрированы также пульсации с периодами в десятки суток.

Переменные звёзды, описанные выше, меняют свой блеск из-за сложных физических процессов в недрах или на поверхности либо в результате взаимодействия в тесных двойных системах. Это *физически переменные звёзды* (разумеется, здесь рассмотрены далеко не все их разновидности). Однако найдено немало звёзд, переменность которых объясняется геометрическими эффектами.

Известны тысячи *затменных переменных* звёзд в двойных системах. Их компоненты, перемещаясь по своим орбитам, временами заходят один за другой. Самая знаменитая затменная переменная звезда — Алголь. В этой системе компоненты не слишком близки между собой, поэтому их форма мало искажена взаимодействием — они почти шарообразны. Переменные, подобные Алголю, практически не меняют блеска, пока не наступит затмение. Обнаружить такую переменность непросто, ведь продолжительность затмения обычно невелика по сравнению с интервалом времени, когда блеск звезды постоянен. Но встречаются и другие затменные переменные. Их компоненты имеют форму вытянутых эллипсоидов — столь сильно притяжение каждого из них влияет на соседа. При орбитальном вращении таких тел блеск меняется непрерывно, и довольно трудно определить, в какой момент начинается затмение.





Изменение блеска (m) затменной переменной звезды, связанное с периодическими затмениями одного компонента другим. Цифры на графике относятся к соответствующим положениям компонента на орбите.

Яркость звёздной поверхности может быть неоднородной из-за того, что на поверхности звезды имеются тёмные или светлые пятна. Вращаясь вокруг оси, звезда поворачивается к земному наблюдателю то более светлой, то более тёмной стороной. На некоторых холодных карликовых звёздах пятна подобны солнечным, но, поскольку они занимают большую часть диска, переменность при осевом вращении становится вполне заметной. Как и на Солнце, появление звёздных пятен связано с процессами в хромосфере, и нередко такие переменные обнаруживают как слабые рентгеновские источники.

У Солнца пятна маленькие. Если наблюдать Солнце издалека, как звезду, его переменность вряд ли будет заметна. Ещё труднее обнаружить её с Земли — Солнце слишком яркое. Однако для человека Солнце — самая важная звезда, от которой зависит жизнь на нашей планете, поэтому и внимание к нему особое. Специ-

альными исследованиями с космических аппаратов было установлено, что, действительно, при прохождении по солнечному диску крупных пятен на Землю поступает чуть-чуть меньше света. Так что Солнце вполне может считаться слабой пятнистой переменной звездой. Небольшая переменность Солнца (меньше десятой доли процента) наблюдается и с периодом, равным 11-летнему циклу солнечной активности.

Очень часто геометрическая переменность сочетается с физической. Так, многие красные карлики — пятнистые переменные и в то же время принадлежат к одному из самых распространённых типов физически переменных — вспыхивающим звёздам. Вспышки таких звёзд похожи на некоторые виды солнечных вспышек, только гораздо мощнее. Иногда во время вспышки, длящейся считанные минуты, блеск звезды возрастает на несколько звёздных величин. Представьте себе, что было бы, если бы при солнечных вспышках на Землю приходило вдвое больше света, чем обычно!

Переменными не считаются звёзды, блеск которых меняется вследствие микролинзирования (см. статью «Гравитационные линзы») или затмения малыми планетами Солнечной системы, т. е. явлений, не связанных с процессами в самой звезде.

ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД

Современные методы научных исследований очень сложны, чтобы правильно их использовать, нужна многолетняя специальная подготовка. Без неё невозможно создать новую физическую теорию или грамотно поставить эксперимент. Наука стала почти на сто процентов



профессиональной. Однако в области изучения переменных звёзд и сейчас, в начале XXI в., существует обширное поле деятельности для любителей астрономии. Держать в поле зрения каждую из сотен тысяч переменных звёзд профессиональные астрономы пока не в состоянии. Такая возможность только начинает появляться благодаря попыткам ор-

ганизации автоматического слежения за всем звёздным небом с оперативной обработкой информации на мощных компьютерах. Пока же астрономы-любители (многие из которых объединены в ассоциации) наблюдают множество переменных звёзд и сообщают астрономическим научным учреждениям ценные сведения об изменениях их блеска.

Наиболее известна среди любительских организаций Американская ассоциация наблюдателей переменных звёзд. Её члены проживают не только в США и Канаде, но и в других странах, в том числе европейских. В архивах ассоциации хранятся данные о нескольких миллионах наблюдений переменных звёзд. Раньше любители следили за переменными звёздами в бинокль или небольшой телескоп, сравнивая их блеск с блеском соседних звёзд. Такие наблюдения любители ведут и сейчас, однако всё чаще они теперь используют современные приборы для измерения блеска, информация с которых сразу передаётся на компьютер.

Ассоциация эффективно взаимодействует с профессиональными астрономическими учреждениями. Например, астрономы поручали её членам проследить, когда у определённой карликовой новой произойдёт вспышка, чтобы, получив сообщение об этом, немедленно начать наблюдения на больших телескопах. Неоценим вклад любителей астрономии в наблюдения переменных типа Миры Кита, которые ведутся ими на протяжении десятилетий. Результаты публикуются в изданиях Американской ассоциации наблюдателей переменных звёзд и других подобных объединений.

Нередко астрономам-любителям удаётся первыми заметить вспышки новых звёзд. Здесь наибольший успех в последнее время выпадает на долю японских наблюдателей, тоже объединённых в ассоциацию.

Наблюдение 78

18 мая 1996 г.

Небо тёмное. В южной части низко над горизонтом облака. Лёгкий ветер. Качество изображений 5 (α Воо, увеличение 169 раз). Предельная звёздная величина $10,9^m$ (область χ Cyg, увеличение 32 раза). Поправка часов +1,5 мин. Наблюдения в телескоп «Мицар».

Время	Звезда	Оценка блеска	Увели- чение	Карта	Приме- чения
0 ч 33 мин	X Cyg	b2v2d	32	Цесевич	Прим. 1
0 ч 36 мин	DM Del	A2v3B	32	Цесевич AAVSO	
0 ч 39 мин	S Sge	c3v1d	32		
0 ч 47 мин	U Cyg	v=8,8	32		Прим. 2
1 ч 04 мин	DM Del	A2v1B	32		Прим. 3

Карты окрестностей переменных звёзд, помеченные «Цесевич», взяты из книги В. П. Цесевича «Переменные звёзды и способы их исследования» (М.: Педагогика, 1970).

Карты, помеченные «AAVSO», взяты из атласа переменных звёзд AAVSO.

Примечания:

1. Положение трубы телескопа к западу от колонны.
2. Неуверенная оценка. Наблюдаемая переменная очень красная, звезда сравнения белая.
3. Положение трубы телескопа к востоку от колонны.

Страница журнала наблюдений астронома-любителя, содержащая данные о визуальном наблюдении переменных звёзд X Cyg (X Лебеда), DM Del (DM Дельфина), S Sge (S Стрелы), U Cyg (U Лебеда).



Пользуясь электронной почтой, они поддерживают постоянную связь, помогают друг другу проверить возможные открытия, оперативно извещают профессионалов. Португальский астроном-любитель А. Перейра выучил вид в бинокль довольно обширных звёздных полей и потом первым заметил две новые звезды. А протестантский священник Р. Эванс из Австралии сумел запомнить облик окрестностей большого числа близких галактик, чтобы, наводя на них телескоп, проверять (даже без помощи звёздной карты), не вспыхнули ли в этих галактиках сверхновые звёзды. Так ему удалось открыть десятки сверхновых.

В нескольких странах профессиональные астрономы организовали автоматическое слежение за звёздным небом, обычно с небольшими телескопами. Такие наблюдения дают огромный объём информации,

и профессионалы не возражают против её использования любителями. К наблюдениям открыт свободный доступ в Интернете, и многим любителям астрономии удаётся по этим данным открывать и исследовать новые переменные звёзды.

Любительские наблюдения переменных звёзд проводятся и в России, где имеются свои объединения любителей (некоторые наши соотечественники участвуют и в работе Американской ассоциации наблюдателей переменных звёзд). Наиболее интересные результаты наши и зарубежные любители астрономии публикуют в электронном журнале «Переменные звёзды», открытом и для профессионалов, и для любителей (<http://www.astronet.ru/db/varstars/>), который издаёт в Москве Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга, Институт астрономии РАН и «Астронет».

ВЗРЫВАЮЩИЕСЯ ЗВЁЗДЫ

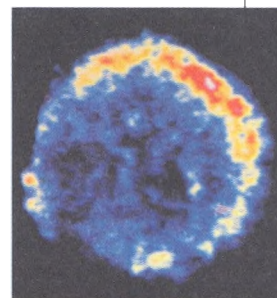
Очень редко на небе возникают новые звёзды — они внезапно появляются на том месте, где раньше можно было наблюдать звезду только в телескоп. Блеск такой звезды постепенно увеличивается, достигает максимума, а через несколько месяцев ослабевает настолько, что часто она становится не видимой даже в телескоп, как бы исчезает.

Ещё более грандиозное, но чрезвычайно редкое небесное явление, получившее название сверхновой звезды, запечатлено во многих исторических летописях разных народов. Блеск сверхновой, вспыхивавшей тоже вроде бы на пустом месте, иногда достигал такой величины, что звезду было видно даже днём!

Явления новых звёзд известны с давних времён. В XX в., когда ас-

тронические наблюдения приобрели регулярный характер, а вид звёздного неба «протоколировался» на фотопластинках, стало ясно, что на месте «новых» звёзд на самом деле всегда находятся слабые звёздочки. Просто внезапно их блеск увеличивается до своего максимума и затем вновь уменьшается до спокойного уровня. Более того, оказалось, что иногда явление новой звезды повторяется более или менее регулярно на одном и том же месте, т. е. одна и та же звезда по каким-то причинам раз в десятки или сотни лет сильно увеличивает свою светимость.

Иначе обстоит дело со вспышками сверхновых звёзд. Если на их месте до начала вспышки и была заметна звезда (как, например, в случае ближайшей изученной сверхновой,



Первое рентгеновское изображение остатка Сверхновой Тихо, вспыхнувшей в 1572 г. Получено космической обсерваторией «Эйнштейн» (США).



▲
Галактика
М 51 (Водоворот)
до взрыва
сверхновой.

►►
Сверхновая
SN 1994I
в галактике
М 51 (указана
стрелкой).

наблюдавшейся в 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке), то после вспышки она действительно исчезает, а сброшенная ею оболочка ещё долгие годы видна как светящаяся туманность.

Исследования сверхновых звёзд, вспыхнувших в нашей Галактике, затрудняются тем, что эти небесные объекты чрезвычайно редко доступны наблюдениям в видимом диапазоне из-за поглощения света в межзвёздном пространстве. За всю историю науки их удалось увидеть всего несколько раз. Однако регулярные наблюдения большого количества других галактик приводят к ежегодному обнаружению нескольких сотен сверхновых. Установлено, что в среднем в каждой галактике вспышка сверхновой происходит раз в несколько десятилетий. Причём в максимуме своего блеска она может быть столь же яркой, как десятки и даже сотни миллиардов звёзд галактики, вместе взятых. Самые далёкие

из известных ныне сверхновых находятся в галактиках, расположенных в сотнях мегапарсек от Солнца.

В 1930-х гг. Вальтер Бааде и Фриц Цвики предположили, что в результате взрыва сверхновой может образоваться сверхплотная нейтронная звезда. Эта гипотеза подтвердилась после открытия пульсара — быстро-вращающейся нейтронной звезды с периодом 33 миллисекунды — в центре известной Крабовидной туманности в созвездии Телец; пульсар возник на месте вспышки сверхновой 1054 г. Никаких нейтронных звёзд на месте новых звёзд не возникает.

Таким образом, явления новых и сверхновых звёзд имеют различную природу.

НОВЫЕ ЗВЁЗДЫ

Во время вспышки блеск новой увеличивается в десятки тысяч раз, а выделяемая энергия достигает 10^{39} Дж



(такая энергия излучается Солнцем примерно за 100 тыс. лет!). До середины 1950-х гг. природа вспышек новых звёзд оставалась совершенно неясной. Но в 1954 г. было обнаружено, что известная новая звезда DQ Геркулеса входит в состав тесной двойной системы с орбитальным периодом несколько часов. В дальнейшем удалось установить, что все новые звёзды являются компонентами тесных двойных систем, в которых одна звезда — как правило, звезда главной последовательности типа нашего Солнца, а вторая — компактный, размером в сотую долю радиуса Солнца, белый карлик.

Орбита такой двойной системы настолько тесна, что нормальная звезда сильно деформируется приливным воздействием компактного соседа. Газ из атмосферы этой звезды может свободно перетекать на белый карлик, образуя вокруг него аккреционный диск. Вещество в диске тормозится вязким трением, нагревается, вызывая свечение (именно это свечение преобладает в спокойном состоянии), и в конце концов достигает поверхности белого карлика.

По мере падения вещества на белом карлике образуется тонкий плотный слой газа, температура которого постепенно увеличивается. За характерное время от нескольких лет до многих сотен лет температура и плотность этого поверхностного слоя вырастают до столь высоких значений, что столкновения быстрых протонов горячего газа начинают приводить к термоядерной реакции синтеза гелия. Но, в отличие от центральных частей Солнца и других звёзд, где эта реакция протекает достаточно медленно, на поверхности белого карлика она носит взрывообразный характер. Это объясняется особым свойством вещества белых карликов, состоящих из вырожденного газа.

Термоядерный взрыв на поверхности белого карлика и приводит к

сбросу накопившейся оболочки (её масса составляет около сотой доли от массы Солнца), разлёт и свечение которой мы и наблюдаем как вспышку новой звезды. Несмотря на огромную выделенную энергию, разлетающаяся оболочка не оказывает заметного воздействия на соседнюю звезду, и та продолжает поставлять топливо для следующего взрыва.

С началом эры рентгеновской астрономии (1960-е гг.) выяснилось, что есть звёзды, родственные новым звёздам, но они не наблюдаются в оптическом диапазоне. Так, в 1970-х гг. были открыты *рентгеновские барстеры* — регулярно вспыхивающие источники рентгеновского излучения. Механизм вспышек здесь в целом такой же, как и у классических новых звёзд. Разница в том, что второй компонент тесной двойной системы не белый карлик, а ещё более компактная нейтронная звезда радиусом всего около 10 км. Как и в случае новых звёзд, вещество нормальной звезды типа Солнца или красного карлика «срывается» приливными силами со стороны нейтронной звезды, образуя аккреционный диск. Газ попадает на поверхность нейтронной звезды (если только она не обладает сильным магнитным полем), нагревается, и это приводит к повторяющимся термоядерным взрывам. А из-за большой компактности нейтронной звезды плотность вещества, достигшего поверхности, оказывается чудовищно высокой. Разогретый термоядерными взрывами газ излучает в основном энергичные рентгеновские кванты.

Ещё один тип новых звёзд — *рентгеновские новые*. Они ярко вспыхивают в рентгеновском диапазоне на несколько месяцев, а затем полностью исчезают. Сейчас таких рентгеновских новых известно около десяти. Предполагается, что в рентгеновских новых компактными звёздами являются тела массой около 10 масс Солнца, являющиеся чёрными ды-



Вид новой в созвездии Лебедя в телескоп.

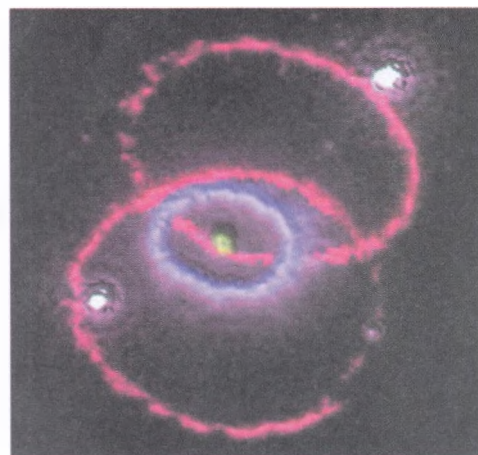


рами. Как следует из общей теории относительности Эйнштейна, масса чёрных дыр в звёздных системах действительно должна быть не менее 3 солнечных. Так как чёрные дыры не имеют поверхности, на которой могло бы скапливаться аккрецируемое вещество, природа вспышки здесь уже иная, чем у классических новых звёзд и рентгеновских барстеров. Вспышка рентгеновской новой связана с физическими процессами в очень быстро вращающемся вокруг чёрной дыры аккреционном диске, которые приводят к внезапному гигантскому выделению энергии, запасённой в нём. Выяснение причины такого неустойчивого поведения дисков — одна из актуальных задач современной астрофизики.

СВЕРХНОВЫЕ ЗВЁЗДЫ

Сверхновая
SN 1987A
в Большом
Магеллановом
Облаке (указана
стрелкой).

Сверхновые звёзды — одно из самых грандиозных космических явлений. Коротко говоря, сверхновая — это настоящий взрыв звезды, когда большая часть её массы (а иногда, возможно, и вся) разлетается со



Сверхновая 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке через четыре года после вспышки. Кольца — результат взаимодействия излучения, возникшего при взрыве, с газовыми оболочками, сброшенными звездой до взрыва. Снимок космического телескопа «Хаббл».

скоростью от 10 000 км/с и выше, а остаток сжимается (коллапсирует) в сверхплотную нейтронную звезду или в чёрную дыру.

Сверхновые являются финалом жизни звёзд с начальной массой более 8—10 солнечных. При вспышках сверхновых рождаются нейтронные звёзды и чёрные дыры, а сброшенное при взрыве вещество обогащает межзвёздную среду тяжёлыми (тяжелее железа) химическими элементами. Основная масса этих элементов образуется в результате взаимодействия ядер более лёгких элементов со свободными элементарными частицами в процессе взрыва.

По наблюдаемым характеристикам сверхновые звёзды принято разделять на две большие группы — сверхновые I и II типа. В спектрах сверхновых I типа нет линий водорода; зависимость их блеска от времени (кривая блеска) и светимость в максимуме примерно одинаковы. Сверхновые II типа, напротив, имеют богатый водородными линиями оп-





тический спектр; формы их кривых блеска разнообразны; блеск в максимуме сильно различается от одной звезды к другой.

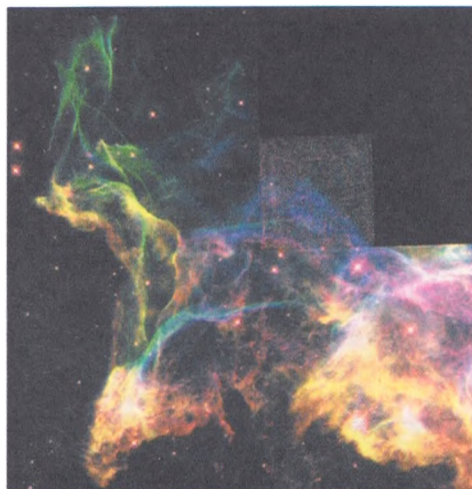
Учёные заметили, что в эллиптических галактиках (т. е. галактиках без спиральной структуры, с очень низким темпом звездообразования, излучение которых связано в основном с маломассивными красными звёздами) вспыхивают только сверхновые I типа. В спиральных же галактиках, к числу которых принадлежит и наша Галактика — Млечный Путь, встречаются оба типа сверхновых. При этом представители II типа концентрируются к спиральным рукавам, где идёт активный процесс звездообразования и много молодых массивных звёзд. Эти особенности отражают различную природу двух типов сверхновых.

При взрыве любой сверхновой освобождается огромное количество энергии — порядка 10^{46} Дж! При этом основная энергия взрыва уносится не фотонами, а нейтрино — быстрыми частицами с очень малой массой покоя. Нейтрино чрезвычайно слабо взаимодействуют с обычным веществом (поэтому их так трудно регистрировать), и для них недра звезды вполне прозрачны.

Сверхновые II типа вспыхивают в результате коллапса ядер массивных звёзд. На разных этапах жизни звезды в ядре происходили термоядерные реакции, при которых сначала водород превращался в гелий, затем гелий в углерод и так далее до образования элементов «железного пика» — железа, кобальта и никеля. Атомные ядра этих элементов имеют максимальную энергию связи в расчёте на одну частицу. Присоединение новых частиц к атомному ядру элемента тяжелее железа потребует значительных затрат энергии, а потому термоядерное горение и «останавливается» на элементах железного пика. Для взрыва ядра требуется,



Туманность Петля в созвездии Лебедь. Она образовалась при взаимодействии волны, порождённой взрывом сверхновой, с межзвёздной средой.



Детали Петли Лебеда. Снимок космического телескопа «Хаббл».

чтобы оно потеряло устойчивость и начало быстрое сжатие.

Существуют по крайней мере две причины, которые могут привести к потере устойчивости и коллапсу железных ядер звёзд. Во-первых, это «развал» ядер железа на 13 альфа-частиц (ядер гелия) при поглощении энергичных гамма-фотонов (так называемая фотодиссоциация железа). Во-вторых, нейтронизация



вещества — захват электронов протонами с образованием нейтронов. Эти процессы не происходят в обычных звёздах, но становятся возможными при очень больших плотностях (свыше 1 т/см^3), которые достигаются в центре звезды в конце её эволюции. Оба механизма эффективно снижают «упругость» вещества, которая противостоит сдавливающему действию сил тяготения. Как следствие ядро звезды теряет устойчивость и сжимается. При этом в ходе нейтронизации вещества выделяется большое количество нейтрино, уносящих основную энергию, запасённую в коллапсирующем ядре.

В отличие от процесса катастрофического коллапса ядра, теоретически разработанного достаточно детально, сброс оболочки звезды (собственно взрыв) не так-то просто объяснить. Скорее всего, существенную роль в этом процессе играют нейтрино.

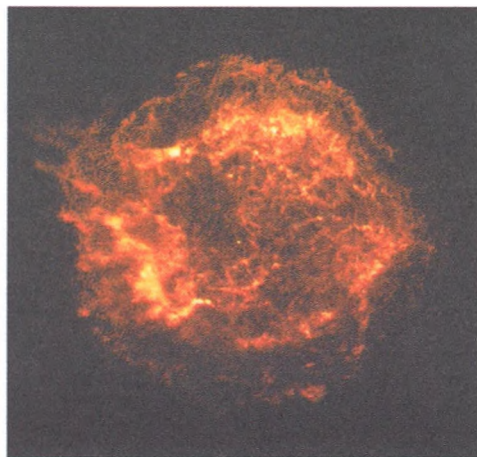
Согласно расчётам, плотность вблизи ядра настолько высока, что даже слабо взаимодействующие с веществом нейтрино оказываются на какое-то очень короткое время «запертыми» внутри звезды. Звезда становится неустойчивой, и в результате часть нейтринного импульса передаётся внешней оболочке, которая получает большую скорость

и сбрасывается в окружающее пространство. При этом сброс может быть несимметричным, и тогда образующийся остаток звезды получает импульс отдачи и начинает двигаться в направлении, противоположном основному выбросу. Это объясняет высокие пространственные скорости (до 1000 км/с), наблюдаемые у некоторых молодых нейтронных звёзд — радиопульсаров, образовавшихся при взрыве сверхновых.

Теоретические предсказания, основанные на данной модели (особенно касающиеся полной энергии и спектра нейтринной вспышки), оказались в полном согласии с зарегистрированным 23 февраля 1987 г. нейтринным импульсом, пришедшим от сверхновой в Большом Магеллановом Облаке.

Теперь несколько слов о сверхновых I типа. Отсутствие свечения водорода в их спектрах говорит о том, что взрыв происходит в звёздах, лишённых водородной оболочки. Как сейчас полагают, это может быть термоядерный взрыв белого карлика (так называемые сверхновые Ia) либо взрыв ядра массивной звезды, которая успела потерять водородную оболочку (сверхновые Ib) или, в некоторых случаях, водородно-гелиевую оболочку (сверхновые Ic). Фактически в случаях сверхновых Ib и Ic, как

Остаток
сверхновой
в созвездии
Кассиопея
в оптических
(слева) и
рентгеновских
(справа) лучах.





и сверхновых II типа, мы наблюдаем результат взрыва плотных звёздных ядер из тяжёлых элементов, сформировавшихся в конце жизни в недрах наиболее массивных звёзд. Различие лишь в наличии или отсутствии на момент взрыва внешних оболочек, содержащих водород и гелий. А это уже зависит от массы звезды и характера её эволюции. Недавно была установлена связь наиболее мощных сверхновых Ic космическими гамма-всплесками.

Как может взорваться белый карлик (сверхновая Ia)? Ведь в этой очень плотной звезде не идут ядерные реакции, а силам гравитации противодействует давление плотного газа, состоящего из электронов и ионов (так называемый вырожденный электронный газ). Причина здесь та же, что и при коллапсе ядер массивных звёзд, — потеря устойчивости из-за уменьшения упругости вещества звезды при повышении её плотности. Это опять-таки связано со «вдавливанием» электронов в протоны с образованием нейтронов, а также с релятивистским эффектом «утяжеления» вещества при высоких давлениях.

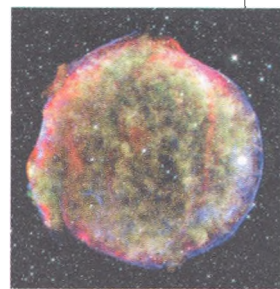
Если белый карлик входит в состав тесной двойной системы, то под действием приливных сил газ с соседней звезды способен перетекать на белый карлик (как в случае новой звезды). При этом масса и плотность его будут постепенно возрастать, что при некоторых условиях приведёт не к поверхностной вспышке и появлению новой звезды, а к коллапсу и взрыву белого карлика в целом. Но наиболее вероятной причиной коллапса и термоядерного взрыва, приводящего к сверхновой типа Ia, считается слияние двух белых карликов в тесной двойной системе. Как следует из общей теории относительности Эйнштейна, любые две массы, обращающиеся по орбите вокруг общего центра масс, рано или поздно должны столкнётся



из-за постоянного, хотя и весьма незначительного, уноса энергии из такой системы волнами тяготения — гравитационными волнами. Например, Земля и Солнце, живи они бесконечно долго, тоже столкнулись бы вследствие этого эффекта, правда через колоссальное время, на много порядков превосходящее современный возраст Вселенной. Подсчитано, что в случае тесных двойных систем с массами звёзд около солнечной ($2 \cdot 10^{30}$ кг) их слияние должно произойти за время меньше возраста Вселенной — примерно за 10 млрд лет. Как показывают оценки, в типичной галактике слияния двойных белых карликов могут происходить раз в несколько сотен лет. При слиянии менее массивный белый карлик (имеющий больший радиус) «размазывается» в диск вокруг более массивного компонента, который начинает увеличивать массу, коллапсирует и взрывается.

Из-за примерного равенства масс белых карликов, теряющих устойчи-

Остатки взрыва сверхновой в созвездии Близнецы.



Остаток Сверхновой Тихо в рентгеновских лучах. Излучает газ, нагретый до миллиона градусов. Космическая обсерватория «Чандра» (НАСА).



КОСМИЧЕСКИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКИ

Космическими спутниками в конце 1960-х гг. были открыты мощные короткие (0,1—1000 с) всплески нетеплового гамма-излучения. Это грандиозные космические взрывы, излучающие в основном в жёстком рентгеновском диапазоне, которые наблюдаются с космологических расстояний (вплоть до нескольких гигапарсек!). Выделяемая энергия только в жёстком электромагнитном излучении сравнима и превосходит энергию самых мощных сверхновых (до 10^{46-47} Дж). По-видимому, энергия концентрируется в узком конусе (джете) с углом $1-10^\circ$. После жёсткого гамма-импульса остаётся монотонно тускнеющее рентгеновское и оптическое (иногда и радио-) излучение (так называемые «ореолы» или «послесвечения»), наблюдаемое в течение нескольких дней и даже месяцев. Всплески возникают в галактиках на больших красных смещениях (до 8,6 — рекорд для астрономического объекта на 2010 г.). В нескольких случаях найдена связь с компактными коллапсирующими сверхновыми типа Ic — взрывами массивных звёзд Вольфа-Райе без водородной и иногда без гелиевой оболочки. Природа всплесков остаётся неясной, но, по-видимому, связана с освобождением колоссальной гравитационной энергии при коллапсе вращающегося ядра звезды в чёрную дыру. Возможно также образование короткого гамма-всплеска при слиянии пары нейтронных звёзд или нейтронной звезды с чёрной дырой при сжатии орбиты двойной системы из-за потери орбитальной энергии на гравитационное излучение. Остаточное свечение (ореол) возникает при взаимодействии ультрарелятивистского джета с окружающей межзвёздной средой (релятивистский аналог обычных остатков сверхновых).

вость, их термоядерные взрывы «пожожи» друг на друга, а значит, сверх-

новые I типа по своим характеристикам должны выглядеть примерно одинаково вне зависимости от того, когда и в какой галактике произошла вспышка. Поэтому видимая яркость сверхновых отражает расстояния до галактик, в которых они наблюдаются. Это свойство сверхновых I типа в настоящее время широко используется для определения космологических параметров. Именно по наблюдениям этих сверхновых в конце XX в. было установлено, что расширение Вселенной происходит с нарастающим ускорением.

Мы рассказали лишь о наиболее мощных взрывах звёзд, происходящих во Вселенной. Поскольку в случае сверхновых звёзд основная энергия взрыва уносится нейтрино, а не световыми волнами, исследование неба методами нейтринной астрономии имеет интереснейшие перспективы. Оно позволит в будущем «заглянуть» в самое «пекло» сверхновой, скрытое огромными толщами непрозрачного для света вещества. Ещё более удивительные открытия сулит гравитационно-волновая астрономия, которая в недалёком будущем может поведать нам о грандиозных явлениях слияния двойных белых карликов, нейтронных звёзд и чёрных дыр.

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ, НЕЙТРОННЫЕ ЗВЁЗДЫ И ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ

Звёзды живут долго, но не вечно. Ранно или поздно термоядерное топливо заканчивается, и выделение энергии уже не способно противодействовать гравитации, стремящейся как можно сильнее сжать звезду. Наступает момент её перехода в новое состояние: в зависимости от массы она становится белым карликом,

нейтронной звездой или чёрной дырой.

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ

В 1844 г. немецкий астроном Фридрих Вильгельм Бессель, долгое время наблюдавший за собственным дви-



жением по небу двух ярких звёзд — Сириуса и Прочиона, — объявил, что обе они движутся не по прямым, а по волнистым траекториям. Открытие натолкнуло учёного на мысль, что у каждой из этих звёзд есть невидимый спутник.

Предположение Бесселя вскоре подтвердилось. Американский оптик Алван Кларк 31 января 1862 г., испытывая только что изготовленный 46-сантиметровый объектив, сумел разглядеть спутник Сириуса, а в 1896 г. был обнаружен и спутник Прочиона. Наблюдая взаимное обращение этих звёзд и их спутников, астрономы при помощи закона всемирного тяготения вычислили массы каждого из светил. Главные звёзды, называемые теперь Сириусом А и Прочионом А, оказались массивнее Солнца соответственно в 2,3 и 1,8 раза, а массы их спутников — Сириуса В и Прочиона В — составляют примерно 0,98 и 0,65 солнечной массы.

Но Солнце, практически равное по массе Сириусу В, с его расстояния сияло бы почти как Полярная звезда. Почему же Сириус В в течение 18 лет оставался невидимым? Может быть, из-за малого углового расстояния между ним и Сириусом А? Не только. Как выяснилось, он недоступен невооружённому глазу из-за крайне низкой светимости, в 400 раз уступающей светимости Солнца! Правда, в начале XX в. этот факт не казался особенно странным: связь массы звезды с её светимостью ещё не была установлена. Лишь когда были получены спектры излучения Сириуса В и Прочиона В, а также измерены их температуры, стала очевидной «аномальность» этих объектов.

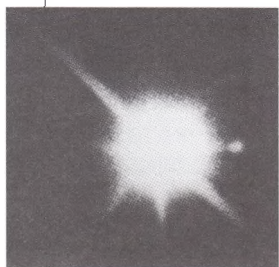
В 1910-х гг. американский астроном Уолтер Адамс оценил температуру Сириуса В в 8000 К (позже эту оценку уточнили, и на самом деле температура оказалась ещё выше, около 10 000 К). Такая горячая звезда, будь у неё солнечные размеры, по све-



Сравнительные размеры Земли и некоторых белых карликов.

тимости должна была бы превосходить Солнце как минимум в 10 раз. Но реальная светимость Сириуса В, как мы знаем, в 400 раз меньше солнечной, т. е. ниже ожидаемой более чем в 4 тыс. раз! Чтобы разрешить это противоречие, приходится допустить, что Сириус В имеет гораздо меньшую площадь поверхности, а значит, и меньший диаметр. Вычисления показали, что Сириус В по размеру всего лишь в 2,5 раза больше Земли. Но масса-то у него почти солнечная! Получается, что его средняя плотность должна быть почти в 100 тыс. раз больше, чем у Солнца.

Многие астрономы отказывались верить в существование столь экзотических объектов. Только в 1924 г. астрономическое сообщество признало компактные спутники Сириуса и Прочиона реальными представителями нового класса звёзд, которые известны теперь как *белые карлики*.



Белый карлик Сириус В — светлая точка между лучами дифракционного изображения Сириуса А.

«Белые» — потому что первыми открытыми представителями этого типа были горячие бело-голубые светила, «карлики» — потому что у них очень маленькие светимости и размеры.

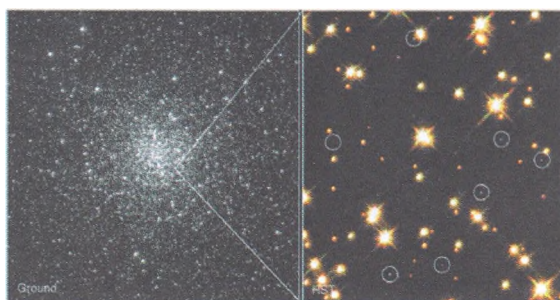
БЕЛЫЕ КАРЛИКИ — ВЫРОЖДЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ

Что же представляет собой белый карлик? В обычном состоянии звезды гравитации противостоит давление горячего газа, разогретого до сверхвысоких температур термоядерными реакциями. В белом карлике термоядерные реакции уже не идут, и потому обычным газовым давлением гравитационное сжатие не остановить. Однако в чрезвычайно плотном веществе белых карликов (в недрах этих объектов плотность может достигать величин порядка 10^{10} кг/м³) начинают действовать иные физические законы. Теорию, которая описывает свойства газов со сверхвысокими плотностями, разработал в середине 1920-х гг. итальянский физик Энрико Ферми. Он доказал, что при такой плотной «упаковке» атомов начинают сказываться законы квантовой механики. Согласно этим законам, электронный «газ», заполняющий пространство между атомами, не застывает, даже если вещество ох-

ладить до абсолютного нуля. Иными словами, давление электронов в белых карликах не спадает даже при низких температурах, более того, вообще не зависит от температуры, в отличие от обычного давления газа, которое прямо пропорционально температуре. Газ, обладающий такими свойствами, получил название *вырожденного*. Именно давление *вырожденного* электронного газа удерживает белые карлики в состоянии равновесия и не даёт им сжаться ещё сильнее.

В 1926 г. английский физик Ральф Фаулер с успехом применил теорию вырожденного газа к белым карликам. На основании этой теории были сделаны два важных вывода. Во-первых, радиус белого карлика при заданном химическом составе вещества однозначно определяется его массой, причём чем массивнее карлик, тем он компактнее. Во-вторых, масса белого карлика не может превышать некоторого критического значения, величина которого примерно 1,4 массы Солнца, — коллапс более массивного тела не может сдержать даже вырожденный газ.

Поскольку теория вырожденного газа хорошо объясняла наблюдаемые свойства белых карликов, их стали называть *вырожденными звёздами*. В настоящее время известно около 10 тыс. белых карликов. Разумеется, все они расположены в ближайших окрестностях Солнца, — на больших расстояниях столь тусклые объекты мы наблюдать не можем. Правда, бывают случаи, когда мы не в состоянии разглядеть сам белый карлик, но видим вспышки в веществе, которое перетекает на него с соседней звезды. Такие «вспыхивающие» двойные системы называют *катаклизмическими переменными*. К ним относятся, например, новые звёзды. Большинство белых карликов состоит из углерода и кислорода. Это неудивительно, поскольку, согласно



Белые карлики в шаровом скоплении (отмечены кружками). Снимок космического телескопа «Хаббл».



теории звёздной эволюции, белые карлики образуются из ядер звёзд, в которых термоядерное горение как раз и доходит до синтеза углерода из гелия и кислорода из гелия и углерода (см. статью «Конец жизненного пути звезды»).

Сегодня известно, что белые карлики — не всегда белые: вырожденные звёзды бывают и красноватого цвета, с температурой порядка 4000 К. А вот более холодных белых карликов найти не удалось, и это вполне объяснимо. В этих объектах уже нет собственных источников энергии, поэтому светятся они лишь за счёт энергии, накопленной на более раннем этапе звёздной эволюции, остывая, как угольки в потухшем костре. В конце 1940-х гг. советский астрофизик Самуил Аронович Каплан построил количественную теорию остывания белых карликов, а в начале 1950-х гг. к аналогичным выводам пришли английские и французские учёные. Дело в том, что из-за малой площади поверхности эти звёзды остывают крайне медленно, поэтому сейчас всё ещё горячи даже самые старые белые карлики, родившиеся одновременно с Галактикой.

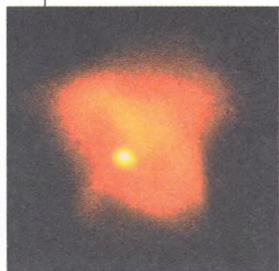
Белые карлики — не просто любопытные небесные объекты. Это замечательные физические лаборатории, позволяющие исследовать вещество в условиях, совершенно недостижимых в земных лабораториях. В последние годы при помощи самых современных астросейсмологических методов удалось «заглянуть» внутрь белых карликов и узнать, что их вещество со временем не только остывает, но и кристаллизуется. Не исключено, что в будущем сведения об экстремальном поведении вырожденного вещества найдут себе применение и на Земле. Но в мире звёзд физические условия на белых карликах — далеко не самые экзотичные. Их плотности меркнут перед плотностями нейтронных звёзд.



НЕЙТРОННЫЕ ЗВЁЗДЫ

Летом 1967 г. на радиотелескопе в Кембридже (Великобритания) были открыты пульсирующие источники радиоизлучения, или просто пульсары. Астрономы заметили, что при наведении телескопа на определённый участок неба приёмник регистрирует радиоимпульсы, повторяющиеся с интервалом чуть больше одной секунды. До тех пор во Вселенной не наблюдалось ни одного источника излучения со столь же быстрой и правильной переменностью. Сначала наблюдатели предположили, что это какие-то земные сигналы. Однако вскоре они убедились, что импульсы приходят из-за границ Солнечной системы. Высказывалась даже гипотеза, что сигналы посылает другая цивилизация, поэтому для них ввели обозначение LGM

Планетарная
туманность
в созвездии
Лиры.



Центр Крабовидной туманности в рентгеновских лучах. Виден пульсар и свечение газа. Съёмка спутника ROSAT.

Крабовидная туманность — остаток взрыва сверхновой. В центре туманности — пульсар.

(сокращение от английского *little green men* — «маленькие зелёные человечки»). Но вот похожий источник обнаружился в совершенно другой области неба, затем ещё два, затем ещё... И вскоре уже никто не сомневался, что импульсы имеют естественное происхождение. Но каково оно, всё равно оставалось загадкой. (Подробнее об истории открытия пульсаров можно прочесть в статье «Радиоастрономия».)

Труднее всего оказалось объяснить быструю переменность этих источников. Период самой быстропеременной «нормальной» звезды, известной до тех пор, равнялся 70 с, в то время как у некоторых пульсаров он не превышает нескольких тысячных долей секунды.

По характеру излучения нетрудно приближённо определить максимально возможные размеры той области пространства, из которой оно приходит. Лучи от дальних участков этой области поступают к земному наблюдателю позже, чем с её ближней границы. Поэтому мгновенный импульс излучения источника для наблюдателя выглядит протяжённым по времени. Исследование переменности пульсаров показало, что разме-

ры излучающих областей в данном случае не превышают нескольких десятков километров. Это мало даже по земным масштабам. Во Вселенной же почти всегда приходится иметь дело с куда более грандиозными расстояниями. Если излучение столь компактных объектов, причём значительно удалённых от нас, всё же регистрируется на Земле, значит, оно невероятно интенсивно.

Изучая распределение пульсаров по небесной сфере, учёные установили, что они чаще всего встречаются вблизи плоскости Млечного Пути и, следовательно, являются членами нашей Галактики. Когда было открыто достаточно много пульсаров, оказалось, что некоторые из них находятся в остатках вспышек сверхновых звёзд. Наиболее известен пульсар с периодом 0,033 с в Крабовидной туманности — расширяющейся газовой оболочке, возникшей после взрыва сверхновой в 1054 г. В январе 1969 г. этот источник радиоизлучения был отождествлён со слабой звёздочкой, изменяющей свой блеск с тем же периодом. В 1977 г. со звездой удалось отождествить ещё один пульсар — на сей раз в остатке сверхновой в созвездии Паруса. У этих источников были зарегистрированы также рентгеновские и гамма-импульсы. Большинство же пульсаров, кроме радиоимпульсов, никакого излучения не посылали.

Всё это навело астрономов на следующую мысль: какова бы ни была природа пульсаров, они связаны со взрывами сверхновых звёзд (см. статью «Конец жизненного пути звезды»). Молодые пульсары имеют короткие периоды, излучают в основном в рентгеновском и гамма-диапазоне. На радиоволны приходится меньше стотысячной доли всей излучаемой энергии. Кроме того, возле молодого пульсара сохраняются остатки разлетающейся оболочки взорвавшейся звезды.





По мере старения пульсара промежутки между импульсами увеличиваются, а излучение слабеет, и его максимум сдвигается в радиодиапазон. Начиная с некоторого возраста пульсары перестают излучать, поэтому источников с периодами больше нескольких секунд не обнаружено.

Такова интерпретация наблюдательных данных. Необходима была теоретическая модель, которая объяснила бы связь пульсара со вспышкой сверхновой и предложила процесс, приводящий к столь мощному и правильному переменному излучению радиоволн из такой небольшой области пространства.

ПУЛЬСАР — НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА

Выше уже говорилось, что в звезде (точнее, в звёздном остатке) при отсутствии собственных источников энергии давление вырожденного газа может противостоять гравитации лишь при условии, что масса звезды не превышает 1,4 массы Солнца. Если же масса звезды превышает это критическое значение, сжатие продолжается. При очень высокой плотности электроны, соединяясь с протонами, образуют нейтральные частицы — нейтроны. Вскоре уже почти вся звезда состоит из одних нейтронов, которые настолько тесно прижаты друг к другу, что огромная звёздная масса сосредоточивается в очень небольшом шаре радиусом несколько километров и сжатие останавливается. Плотность этого шара — *нейтронной звезды* — чудовищно велика даже по сравнению с плотностью белых карликов: она может превышать 10 млн т/см³.

Существование нейтронных звёзд предсказал ещё в 1932 г. советский физик Лев Давидович Ландау, а в 1934 г. работавшие в США Вальтер Бааде и Фриц Цвикки предположили, что по-



добные объекты могут быть остатками сверхновых звёзд. Естественно, когда обнаружилась связь пульсаров с остатками вспышек сверхновых, было высказано мнение, что пульсары и нейтронные звёзды — это одни и те же объекты.

Каким же образом пульсары излучают электромагнитные волны? При сжатии звезды увеличивается не только её плотность. Согласно закону сохранения момента импульса, с уменьшением радиуса звезды растёт также скорость её вращения. При коллапсе огромной массивной звезды до размеров порядка нескольких десятков километров период вращения уменьшается до сотых и даже тысячных долей секунды, т. е. до характерных периодов переменности пульсаров.

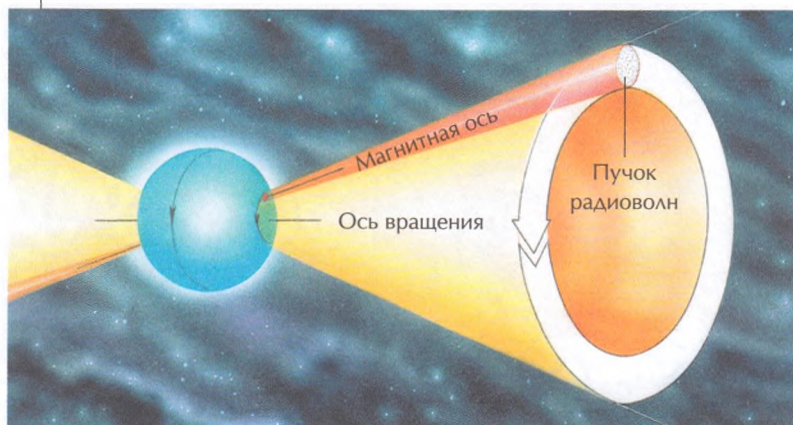
Размеры нейтронной звезды в сравнении с размерами города Москвы.



Помимо этого сильно уплотняется и магнитное поле звезды.

На поверхности нейтронной звезды, где нет такого большого давления, как внутри, могут существовать свободные электроны. Сильное магнитное поле вращающейся нейтронной звезды создаёт очень мощные электрические поля. В них лёгкие электроны разгоняются до скоростей, близких к скорости света, и вылетают в околозвёздное пространство в виде узких струй, начинающихся над магнитными полюсами. Перемеща-

Схема пульсара.



ясь вдоль силовых линий магнитного поля, электроны излучают два узких пучка электромагнитных волн в направлении своего движения. Если магнитная ось звезды не совпадает с осью вращения, то пучки излучения будут вращаться с периодом, равным периоду вращения звезды, как свет маяка. Мы наблюдаем это излучение в том случае, когда, описывая окружность в пространстве, лучи пробегают по земной поверхности. Так что название «пульсары» не совсем точно: они не пульсируют, а вращаются.

Во внешнем слое нейтронной звезды происходят и другие необычные явления. Там, где плотность вещества ещё недостаточно велика для разрушения ядер, они могут образовывать твёрдую кристаллическую структуру. И звезда покрывается жёст-

кой коркой, подобной земной коре, но только в невообразимое число раз плотнее. При замедлении вращения пульсара в этой твёрдой корке создаются напряжения. Когда они достигают определённой величины, корка начинает раскалываться. Это явление называется «звездотрясением». Такими звездотрясениями объясняются скачкообразные изменения периодов некоторых пульсаров.

Открытие пульсаров имело большое значение не только для астрономии. Оно послужило стимулом для развития многих отраслей физики. Изучение пульсаров позволяет исследовать свойства мощных гравитационных и магнитных полей, совершенно недоступных в земных условиях. Высокое постоянство периодов пульсаров дало возможность с большой точностью отслеживать медленные изменения периода вращения Земли. Изменяясь при прохождении через межзвёздный газ, излучение пульсаров несёт важную информацию о составе и физических свойствах межзвёздной среды.

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ

Что произойдёт, если масса звезды настолько велика, что даже образование нейтронной звезды не остановит гравитационного коллапса? Ещё в XVIII в. учёные высказывали предположения о возможности существования во Вселенной тел с огромной силой тяготения, которые притягивают даже испущенный ими самими свет. После создания Эйнштейном общей теории относительности было построено подробное описание таких объектов, названных чёрными дырами (см. статью «Конец жизненного пути звезды»). И по сей день нет окончательных доказательств того, что чёрные дыры существуют в реальности. Однако есть два вида объектов, свойства которых наиболее

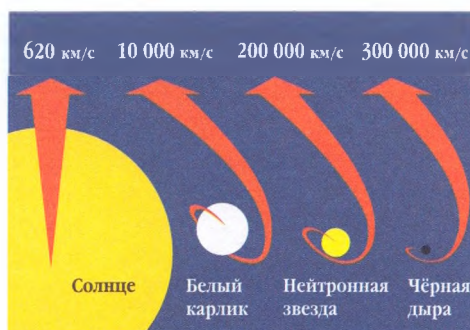


просто объясняются предположением, что это именно чёрные дыры, — невидимые компаньоны некоторых двойных систем и сверхмассивные объекты в ядрах галактик.

Наблюдения показывают, что очень многие звёзды являются двойными, причём иногда расстояния между компонентами настолько малы, что они почти соприкасаются, (см. статью «Двойные и кратные звёзды»). Что если одной из звёзд-соседей в такой тесной двойной системе будет компактная массивная «мёртвая» звезда? Её гравитационное поле может оказаться достаточно сильным, чтобы срывать вещество с нормальной звезды. Газ начнёт отделяться от внешних слоёв видимой звезды и падать на невидимый спутник. Если невидимый спутник является не белым карликом, а нейтронной звездой или чёрной дырой, газ разогреется настолько сильно, что станет источником высокоэнергичного электромагнитного излучения в рентгеновском и гамма-диапазоне. Такое излучение не проходит сквозь земную атмосферу, но его можно наблюдать при помощи космических телескопов. После запуска внеатмосферных приёмников рентгеновского и гамма-излучения подобные источники действительно были открыты в тесных двойных системах.

В большинстве двойных систем, являющихся источниками рентгеновского излучения, масса невидимого компонента не превышает двух солнечных масс, следовательно, это нейтронная звезда. Но некоторые объекты такого типа слишком массивны для нейтронной звезды. Предполагается, что в этом случае гравитационное поле создаёт чёрная дыра. Одним из вероятных кандидатов в чёрные дыры считается ярчайший источник рентгеновских лучей в созвездии Лебедь — Лебедь X-1.

Отличить чёрную дыру от нейтронной звезды в такой сис-

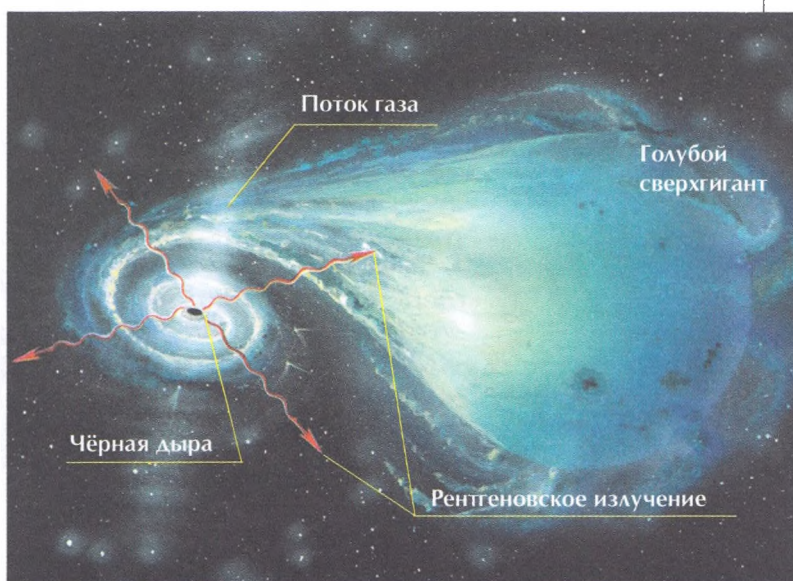


Предельные скорости частиц, при которых звёзды разных типов удерживают их своим тяготением.

теме очень трудно, но это можно сделать косвенным способом. Например, в системах, где масса невидимого компонента заключена в пределах от полутора до трёх масс Солнца, часто наблюдаются так называемые рентгеновские барстеры (более энергичный вариант вспышек на упоминавшихся выше катаклизмических переменных). В системах с более массивными компонентами таких вспышек не бывает, что ожидаемо: вспышки происходят на поверхности компактного объекта, которая есть у нейтронной звезды и отсутствует у чёрной дыры.

Кандидаты в сверхмассивные чёрные дыры — с массами в миллионы и даже миллиарды солнечных масс —

Тесная двойная система, один из компонентов которой — чёрная дыра.





«НЕДОЗВЁЗДЫ»

Белые карлики, нейтронные звёзды и чёрные дыры — это своеобразное «кладбище материи», которая отжила свой термоядерный век и навсегда исключена из галактического кругооборота вещества. Однако существуют во Вселенной и такие объекты, вещество которых исключается из оборота сразу, в момент их формирования, без превращения в звезду. Эти объекты называются коричневыми карликами.

Теория звёздной эволюции утверждает, что для загорания в протозвезде термоядерных реакций превращения водорода в гелий она должна иметь массу не менее 0,08 массы Солнца. Если масса протозвёздного сгустка оказывается меньше этой величины, образуется субзвёздный объект, или коричневый карлик. В нём могут на короткое время загореться термоядерные реакции с участием тяжёлого водорода — дейтерия, но затем на протяжении остального вре-

мени своего существования коричневый карлик просто остывает.

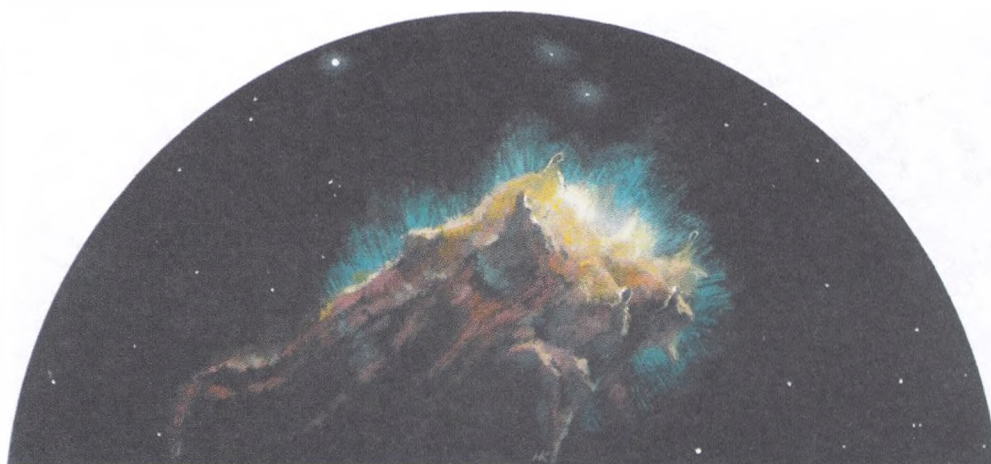
Температуры поверхности известных коричневых карликов заключены в пределах от примерно полутора тысяч до сотен кельвинов. Но, вероятно, существуют и более холодные субзвёздные объекты, которые пока избежали обнаружения из-за исключительной тусклости.

В относительно холодных атмосферах коричневых карликов, в отличие от звёзд, в большом количестве содержатся молекулы — метана, воды и др. Там собираются облака, может быть, даже идут дожди... Вообще, по своим наблюдательным свойствам самые маленькие коричневые карлики должны быть неотличимы от самых больших планет-гигантов... Разница лишь в механизме формирования: планеты-гиганты образуются в газопылевом диске, окружающем молодую звезду, а коричневые карлики способны рождаться самостоятельно.

скрываются в ядрах большинства галактик. Особенно убедительные доказательства в пользу их реальности получены по наблюдениям движения звёзд вблизи центра нашей Галактики. В частности, ближайшая к центру Галактики звезда совершает полный оборот вокруг него за 15 лет, и по наблюдениям уже построена её полная орбита. Простое применение закона всемирного тяготения позволило определить, что враще-

ние звезды происходит вокруг тела с массой в несколько миллионов масс Солнца. Эта масса заключена в области пространства поперечником не более 300 а. е. (её радиус не может быть больше перицентрического расстояния звезды) и при этом невидима. Согласно современным физическим представлениям, никакой другой объект, кроме чёрной дыры, подобным сочетанием свойств обладать не может.





СРЕДИ ЗВЁЗД

МЕЖЗВЁЗДНАЯ СРЕДА

Невооружённому глазу пространство между звёздами представляется пустым, но это впечатление ошибочно. Ещё в XIX в. российский астроном В. Я. Струве предположил, что оно заполнено поглощающим веществом, которое мешает наблюдать далёкие звёзды. В начале XX в. это предположение подтвердил американский астроном Роберт Трюмплер, доказавший, что свет звёзд действительно ослабевает по пути к земному наблюдателю.

Вещество, поглощающее свет, распределено в пространстве неравномерно. Оно имеет клочковатую структуру и концентрируется к Млечному Пути. Области повышенной плотности поглощающего межзвёздного вещества наблюдаются как тёмные туманности, напри-

мер Угольный Мешок в созвездии Южный Крест или Конская Голова в созвездии Орион. Теперь мы знаем, что свет звёзд поглощают мельчайшие пылинки, но они представляют собой лишь «верхушку айсберга». Удалось выяснить, что помимо пыли между звёздами имеется большое количество невидимого газа, масса которого почти в сто раз превосходит массу пыли.

Химический состав межзвёздного газа, независимо от его температуры, оказался близок к составу Солнца. Около 70 % по массе приходится на самый лёгкий элемент в природе — водород, около 28 % — на гелий, а остальные 2 % — на более тяжёлые элементы.

Для межзвёздного газа характерен очень большой разброс физических



Тёмные участки в Млечном Пути представляют собой непрозрачные облака холодного газа и пыли.



Отражательная туманность Голова Ведьмы в созвездии Эридан.

параметров. Он крайне неоднороден по плотности и температуре. Почти половину объёма галактического диска занимает *корональный газ*, названный так по аналогии с разогретым газом солнечной короны. Он отличается очень низкой плотностью (примерно 1 атом на 1 дм^3 пространства) и высокой температурой (около миллиона градусов). Предполагается, что такой горячий разреженный газ образуется в результате мощных взрывов — вспышек сверхновых звёзд. От места взрыва в межзвёздном газе распространяется ударная волна и нагревает газ до высокой температуры, при которой он становится источником рентгеновского излучения. Главный компонент коронального газа — ионизованный водород.

Значительную долю объёма диска занимают несколько более холодные области — так называемая *тёплая межзвёздная среда* с плотностью примерно 1 частица на 1 см^3 и температурой около 8000 К. В этой среде водород ионизован уже лишь частично.

В области горячей и тёплой межзвёздной среды погружены более холодные *межзвёздные облака*, состоящие в основном из атомарного водорода. Они занимают лишь около 1 % объёма Галактики, но при этом на их долю приходится гигантская масса межзвёздного газа (несколько миллиардов солнечных масс). Сравнимое количество газа находится и в холодных молекулярных облаках.

Как же стало известно о существовании атомарного и молекулярного газа? Оказалось, что атомы водорода излучают радиоволны с длиной волны 21 см. Многие молекулы также излучают в радиодиапазоне на определенных частотах. Вообще, большую часть информации о холодном межзвёздном веществе получают с помощью радиотелескопов (см. статью «Радиоастрономия»).



Типичное облако атомарного нейтрального водорода имеет температуру около 70 К ($-200\text{ }^{\circ}\text{C}$) и невысокую плотность (несколько десятков атомов в 1 см^3 пространства). Размеры облаков водорода достигают 100 пк (для сравнения: звёзды в среднем находятся на расстоянии 1 пк друг от друга).

Впоследствии были обнаружены ещё более холодные и плотные облака, практически непрозрачные для видимого света, где водород находится в молекулярной форме. Именно в них сосредоточена основная часть наиболее холодного межзвёздного газа и пыли. По размерам эти облака примерно такие же, как и области атомарного водорода, но плотность их в сотни и тысячи раз выше. В одном молекулярном облаке может содержаться огромная масса вещества, достигающая сотен тысяч и даже миллионов масс Солнца. Такие облака называются гигантскими молекулярными облаками.

Хотя молекулярные облака состоят в основном из молекул водорода, в них присутствуют и более сложные молекулы, в том числе простейшие органические соединения.

Итак, основным компонентом межзвёздной среды является газ, состоящий из атомов и молекул. Он перемешан с пылью и пронизывается космическими лучами и элек-

тромагнитным излучением, которые также можно считать составляющими межзвёздной среды. Кроме того, межзвёздная среда оказалась слегка намагниченной. Её магнитное поле примерно в 100 тыс. раз слабее магнитного поля Земли и вытянуто вдоль спиральных рукавов.



▲
Эмиссионная
туманность Орёл.

◀◀
Светлая
эмиссионная
туманность.

Эмиссионная
туманность
в созвездии
Орион.

ГАЗОВЫЕ ТУМАННОСТИ

Для наблюдений межзвёздной среды чаще всего приходится использовать либо радиотелескопы, если речь идёт о холодном газе, либо ультрафиолетовые и рентгеновские телескопы, если речь идёт о корональном



Большая
туманность
Ориона.

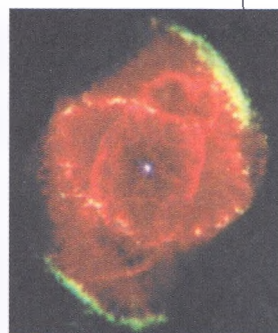


Отражательная
туманность В 26
в созвездии
Орион.



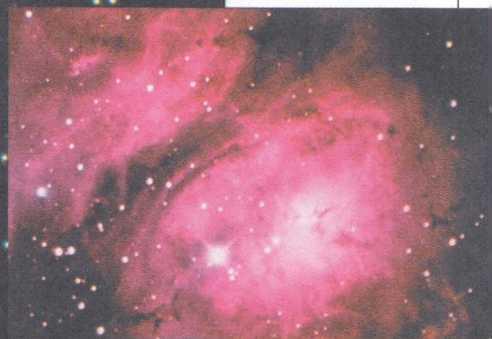
газе. Однако в некоторых случаях межзвёздное вещество можно прекрасно наблюдать и в обычные телескопы. Это происходит тогда, когда вещество светится под воздействием близкой звезды либо просто отражает свет этой звезды. В результате на небе появляются слабосветящиеся пятна — светлые *эмиссионные туманности*. Самая яркая газовая туманность такого типа — Большая

чешский заряд, и вращающегося вокруг него отрицательно заряженного электрона. Затратив определённую энергию, их можно разделить — ионизовать атом. Ионизация атомов может произойти в результате столкновений с другими атомами, но чаще она возникает, когда атомы газа поглощают кванты ультрафиолетового излучения, например от ближайшей звезды.



▲
Планетарная
туманность
сложной
формы
NGC 6543.

◀
Туманность
Лагуна.

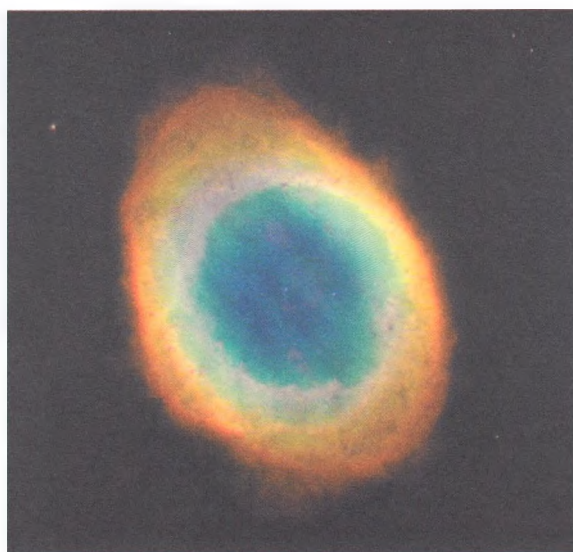


туманность Ориона. Она видна в бинокль, а при хорошем зрении её можно заметить и невооружённым глазом — чуть ниже трёх звёзд, расположенных в одну линию, образующую Пояс Ориона. Расстояние до этой туманности около 1000 световых лет.

Что заставляет светиться межзвёздный газ? Объяснить это можно на примере атомарного водорода. Атом водорода состоит из ядра (протона), имеющего положительный электри-

Но затем электрон и ядро могут вновь соединиться друг с другом, и при этом происходит излучение фотонов определённых длин волн, или, как говорят, излучение определённых спектральных линий. Так светится, конечно, не только водород. Зеленоватое свечение газовых туманностей в XIX в. приписывали излучению «небесного» химического элемента, который называли небулием (от *лат.* nebula — «туманность»). Но впоследствии выяснилось, что

▲
Туманность
Лагуна.
Фрагмент.



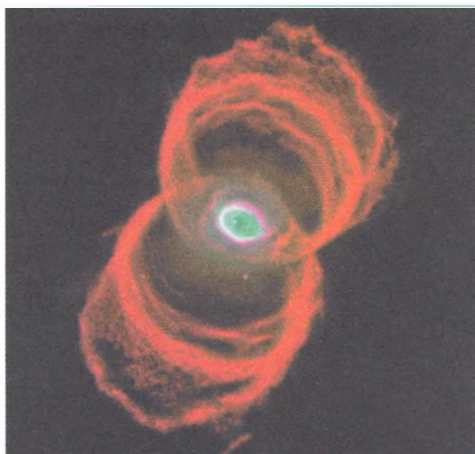
Планетарная туманность в созвездии Лира.

Туманность Тройная.

зелёным цветом светится кислород. Часть энергии движения частиц электронного газа расходуется на возбуждение атомов кислорода, т. е. на перевод электрона в атоме на более далёкую от ядра орбиту. При возвращении электрона на устойчивую орбиту атом кислорода испускает квант зелёного света. Присутствуют в спектрах туманностей и линии других элементов.

Таким образом, области ионизованного газа вокруг горячих звёзд можно представить в виде «машин», которая перерабатывает невидимое ультрафиолетовое излучение звезды в видимое излучение, спектр которого содержит линии различных химических элементов. Газовые туманности могут иметь различные оттенки — зеленоватые, розоватые и другие — в зависимости от тем-

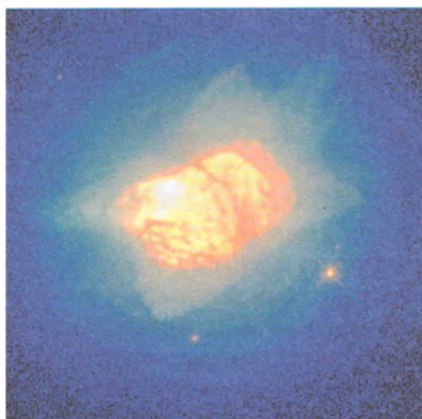




Планетарная туманность Песочные Часы показывает, какие сложные процессы могут происходить при сбросе звёздной оболочки.



Планетарная туманность Гантель в созвездии Лисичка.



пературы, плотности и химического состава газа.

Структура газовых туманностей крайне разнообразна. Одни имеют форму кольца, в центре которого иногда видна тусклая звёздочка, — это планетарные туманности. Другие имеют неправильную форму. Некоторые из них при наблюдении через светофильтр, пропускающий свет той или иной спектральной линии, распадаются на отдельные волокна. Такова Крабовидная туманность — известный пример остатка взорвавшейся звезды (сверхновой).



МЕЖЗВЁЗДНАЯ ПЫЛЬ

Если взглянуть на Млечный Путь в ясную безлунную ночь, то даже невооружённым глазом видно, что эта светлая полоса, пересекающая всё небо, не является сплошной. На её белёсом фоне выделяются многочисленные тёмные пятна и полосы. Одно из самых заметных таких пятен в созвездии Стрелец издавна известно под названием Угольный Мешок. Уже давно высказывалось предположение, что эти «дырки» в небе объясняются концентрацией

▲ Туманность Северная Америка в созвездии Лебедь.

◀◀ Планетарная туманность сложной формы NGC 7027.



Млечный Путь в созвездии Стрелец.



Туманности в созвездии Жерввенник.

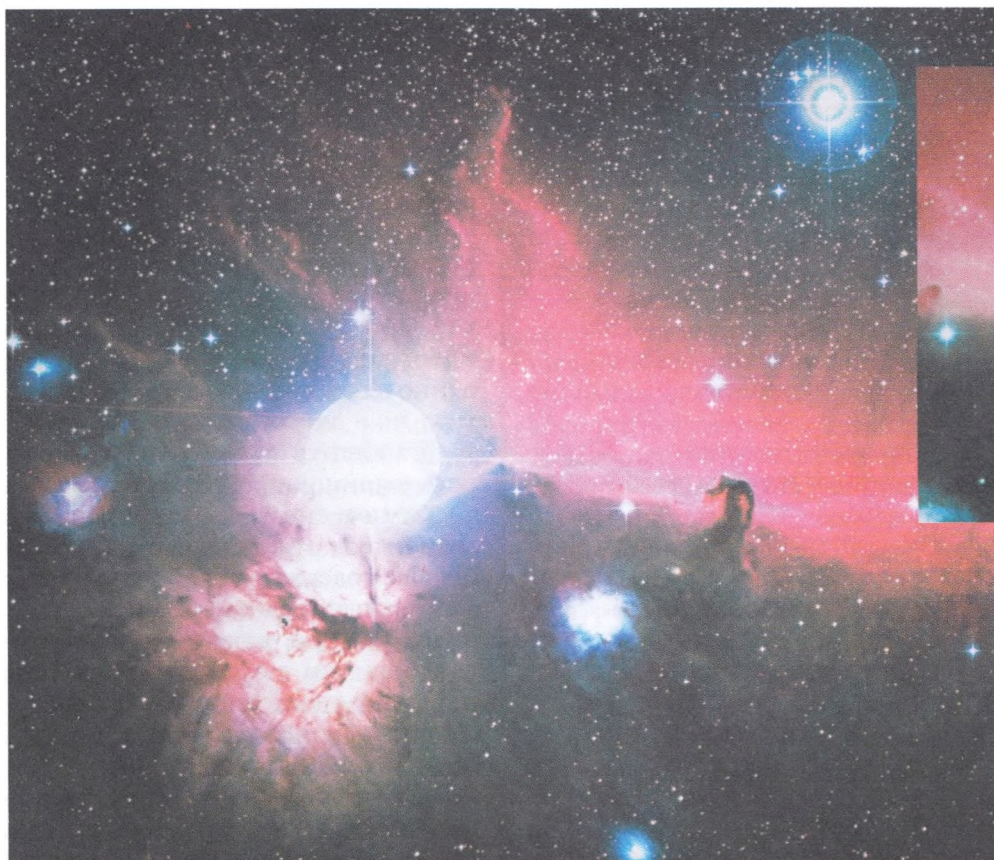
поглощающей свет материи. Развитие наблюдательной астрономической техники подтвердило эту догадку.

О природе поглощающей материи в космосе первоначально не было единого мнения. Считалось, например, что это могут быть маленькие метеоритные частицы, образующиеся при разрушении крупных астероидов. Исследование свойств межзвёздного поглощения света позволило установить, что оно вызывается мельчайшими пылинками, которые заполняют космическое пространство. Характерные размеры этих пылинок — порядка одной сотысячной доли сантиметра.

Пылевые частицы в нашей Галактике сильно концентрируются к плоскости галактического диска, поэтому большая часть тёмных пятен сосредоточена именно на фоне Млечного Пути. В частности, межзвёздная пыль полностью закрывает от нас ядро нашей Галактики. Если бы не это обстоятельство, на ночном небе между созвездиями Стрелец и Скорпион сияло бы огромное размытое пятно, по яркости соперничающее с диском Луны.

Межзвёздная пыль предстаёт перед наблюдателями не только в виде *тёмных туманностей*. Если вблизи пылевого облака находится звезда, которая его освещает, то это облако будет видно уже как светлая туманность. В таком случае её называют *отражательной туманностью*.

В первое время после того, как было обнаружено существование межзвёздной пыли, она рассматривалась лишь как досадная помеха астрономическим исследованиям. Ведь пыль задерживает почти половину суммарного излучения всех звёзд Галактики. В некоторых плотных областях доля поглощённого света превышает 90 %, а в молекулярных облаках, где образуются молодые звёзды, достигает практически 100 %.



Тёмная туманность
Конская Голова
в созвездии
Орион. Справа —
увеличенный
фрагмент.

Плотность пыли в космосе ничтожно мала даже по сравнению с разреженным межзвёздным газом. Так, в окрестностях Солнца в кубическом сантиметре пространства содержится в среднем один атом газа и на каждые сто миллиардов атомов приходится всего одна пылинка! Иными словами, расстояние между пылинками измеряется десятками метров. Масса же пыли в Галактике составляет приблизительно одну сотую от массы газа и одну десятитысячную от полной массы всех звёзд Галактики. Однако этого количества пыли достаточно, чтобы значительно ослаблять свет.

Межзвёздное поглощение света обладает свойством селективности: сильнее всего поглощаются синие лучи, а при переходе к красным и инфракрасным лучам поглощение

ослабевает. Кроме того, свет некоторых избранных цветов поглощается сильнее других. Это связано с тем, что отдельные вещества особенно эффективно поглощают излучение с определёнными длинами волн. Исследование свойств поглощения света на различных длинах волн показало, что в состав межзвёздных пылинок входят соединения углерода, кремния, замёрзшие газы, водяной лёд, а также различные органические вещества.

Изучать свойства космической пыли помогает поляризация света. Свет представляет собой колебания электромагнитного поля — электромагнитные волны. В обычном излучении звёзд имеются волны, в которых поля колеблются во всех направлениях. Когда поток света встречает на своём пути сферическую пылинку,



▲ Глобулы. Эти локальные сгущения тёмного вещества — плотные облака холодного молекулярного газа и пыли.

Фрагмент туманности Лагуна с пылевыми прожилками.
Крупномасштабная съёмка космического телескопа «Хаббл».

все эти волны поглощаются одинаково. Но если пылинка вытянута вдоль одной оси, то колебания, параллельные этой оси, поглощаются сильнее, чем перпендикулярные. В потоке света, прошедшем через облако вытянутых и примерно одинаково ориентированных пылинок уже не все направления колебаний будут представлены в равной степени, т. е. излучение становится поляризованным. Измерение степени поляризации света звёзд на разных длинах волн позволяет судить о форме и размерах пылевых частиц.

Сопоставление наблюдательных данных показало, что межзвёздная пыль состоит в основном из частиц двух видов: графитовых (углеродных) и силикатных (т. е. содержащих соединения кремния). Размеры пылинок неодинаковы, причём мелких частиц значительно больше, чем крупных. В целом размер пылинок колеблется от одной миллионной до одной десятитысячной доли сантиметра.

Графитовые и силикатные частицы образуются, по-видимому, во внешних слоях атмосфер старых звёзд. Вблизи звезды температура оболочки ещё достаточно высока и всё вещество находится в газообразном состоянии. По мере старения звезда

начинает терять газ. Удаляясь от звезды, он остывает. Когда температура газа опускается ниже температуры плавления вещества пылинки, составляющие газ молекулы начинают слипаться в группы, образуя зародыши пылинок. Сначала они растут медленно, но с уменьшением температуры их рост ускоряется. Этот процесс продолжается несколько десятков лет. При дальнейшем расширении вещества, теряемого звездой, постепенно падает не только его температура, но и плотность. И только когда газ становится сильно разреженным, рост пылинок прекращается.

Химический состав пылинок зависит от того, какого элемента больше содержится в оболочке звезды — кислорода или углерода. Дело в том, что при охлаждении вещества оболочки углерод и кислород образуют очень прочные молекулы оксида углерода (угарный газ). Если после этого остался избыток углерода, в звезде будут формироваться графитовые частицы. В противном случае весь углерод войдёт в состав оксида углерода, а избыточный кислород начнёт соединяться с кремнием, образуя молекулы оксида кремния, из которых затем возникают силикатные пылинки.

Структура «новорождённой» пылинки довольно проста. Она однородна по химическому составу и строению. Условия в межоблачной среде таковы, что структура пылинки не может существенно измениться. Иначе обстоит дело в молекулярных облаках, концентрация молекул в которых достигает тысяч частиц на кубический сантиметр. Низкая температура и высокая плотность обеспечивают необходимые условия для образования на поверхности графитовой или силикатной пылинки мантии из более легкоплавких веществ, например воды, аммиака, формальдегида. Смесь этих соединений часто обозначают одним словом «лёд».



Молекулы, входящие в состав льда, продолжают эволюционировать. Воздействие внешнего излучения и столкновения пылинок друг с другом приводят к преобразованию его в более сложные органические соединения. В очень плотных молекулярных облаках, куда не проникает излучение звёзд (из-за той же пыли!), пылинки могут иметь трёхслойную структуру: тугоплавкое ядро, оболочка из органических соединений и ледяная мантия. Предполагается, что из таких пылинок, слипшихся в большие комья, состоят ядра комет — реликты, сохранившиеся от тех времён, когда наша Солнечная система сама ещё была плотным непрозрачным облаком.

Только на поверхности пылинок протекает ключевая реакция, в конечном итоге определяющая весь молекулярный состав межзвёздных облаков, — образование молекул водорода из отдельных атомов. Таким образом, пылинки играют роль катализатора всей межзвёздной химии. Без участия межзвёздной пыли процесс формирования молекулярных облаков и звёзд шёл бы иначе.

Благодаря совершенствованию наблюдательной техники и актив-

ному использованию космических телескопов теперь мы можем наблюдать пыль не только в нашей Галактике, но и в её ближних и дальних соседях, прежде всего в спиральных галактиках, галактиках с активными ядрами и квазарах. Можно наблюдать не только поглощение света пылью, но и её собственное излучение (в инфракрасных лучах), поскольку, поглощая свет звёзд, пылинки сами нагреваются до нескольких десятков градусов выше абсолютного нуля.

Наблюдения показывают, что свойства пыли во Вселенной мало чем отличаются от свойств пылинок Млечного Пути. В спиральных галактиках пыль, как и у нас, концентрируется вблизи плоскости симметрии этих звёздных систем, перечёркивая яркие изображения галактик узкими тёмными полосами. (Типы и строение галактик описаны в статье «Многообразие галактик».)

Ушли в прошлое представления о пыли как о занавесе, скрывающем тайны Вселенной. Теперь ясно, что пыль играет активную роль и является существенным компонентом протекающих во Вселенной физических процессов.





МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ — НАША ЗВЁЗДНАЯ СИСТЕМА — ГАЛАКТИКА

ЗВЁЗДЫ — СОСЕДИ СОЛНЦА

В астрономии зачастую бывает, что об удалённых галактиках людям известно больше, чем о ближайших окрестностях. Почему?

Может показаться, что наиболее яркие звёзды на небе — те, которые ближе к нам расположены. На самом деле большинство ярчайших звёзд — это мощные «прожекторы», видимые издалека. На их фоне теряются маленькие и тусклые звёздочки, которые находятся сравнительно близко, и таких звёзд очень много. Для того чтобы их обнаружить, приходится использовать крупные телескопы или применять специальные методы поиска.

Солнечная система погружена в огромную звёздную систему — Галактику, которую мы видим как Млечный Путь — слабо светящуюся полосу, пересекающую небосклон в ясные безлунные ночи. Галактика насчитывает сотни миллиардов звёзд самых разных светимости, масс и возрастов. Астрономам достаточно хорошо известны как свойства разных типов звёзд, так и то, что эти типы имеют самую различную пространственную плотность. Чем реже в пространстве встречаются звёзды того или иного класса, тем меньше вероятность того, что именно они окажутся вблизи Солнца. Поэтому учёные предполага-



ют, что нашими соседями являются не просто типичные звёзды и другие небесные объекты, а скорее представители наиболее многочисленных «племён» Галактики. Наблюдения показывают, что частота встречаемости звёзд зависит от мощности их излучения, их светимости: чем они слабее, тем их больше в единице объёма пространства. Поэтому с большой вероятностью самыми близкими к нам звёздами должны быть звёзды низкой светимости.

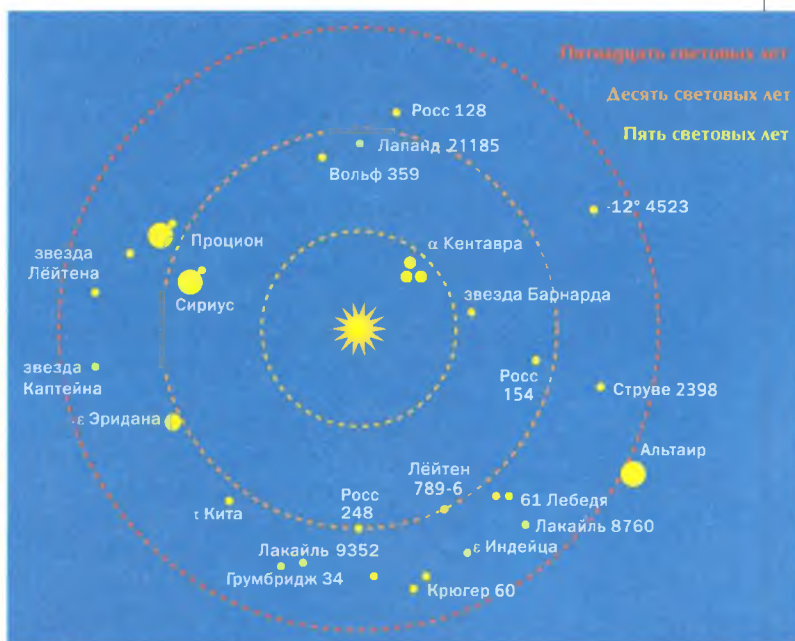
Взаимосвязь между числом объектов и их светимостью приводит к понятию окрестностей Солнца, т. е. такого минимального объёма Галактики, в котором доступными современными астрономическими средствами можно наблюдать и изучать достаточно большое число звёзд различных типов, в том числе звёзд очень низкой светимости. Как показывает практика, таким объёмом является объём шара радиусом около 25 пк. Этот «шар» и принято условно называть окрестностью Солнца. Он содержит более пяти тысяч звёзд различных типов.

В настоящее время в окрестности Солнца исследованы только 50 % светил, причём неизученная половина приходится на долю холодных, слабосветящихся звёзд. Их изучают на меньших расстояниях: до 10 пк от Солнца. Этот объём именуется непосредственными окрестностями Солнца, и в нём мы знаем практически все звёзды — их около 350.

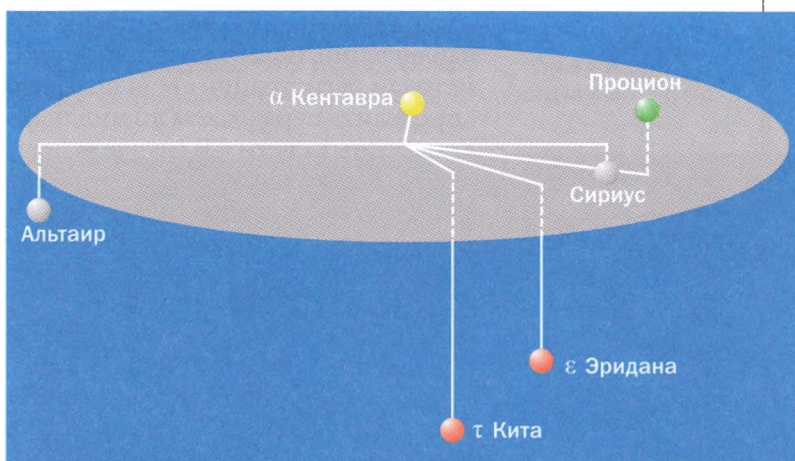
Чтобы выявить наших близких соседей, нужно определить расстояния до звёзд, а это очень трудоёмкий процесс. Уже более 170 лет расстояния до звёзд вычисляют по их видимому смещению на небесной сфере (параллаксу), возникающему в результате орбитального движения Земли вокруг Солнца. Чем дальше звезда, тем меньше она «откликается» на движение Земли.

Поскольку для определения параллакса требуется измерять положения

небесных светил с помощью очень точных инструментов в течение многих лет, то за всю историю наземных измерений параллаксы были получены всего лишь примерно для 15 тыс. звёзд. Большинство из них не



Звёзды, расстояния которых от Солнца не превышают 15 световых лет. На диаграмме они сведены в одну плоскость, поэтому расстояния между ними искажены.



Положение в пространстве близких к Солнцу звёзд, светимость которых примерно равна или больше светимости Солнца.



настолько близки, чтобы считаться соседями Солнца.

Вообще, задача поиска близких звёзд сродни работе золотоискателей: надо промыть тонны золотоносного песка, чтобы добыть грамм золота. Из-за трудоёмкости прямых методов определения расстояний до звёзд астрономы часто прибегают к косвенным методам: кинематическому, спектральному или фотометрическому. Их суть состоит в выделении звёзд с такими характеристиками (скоростями движения по небу, спектральными особенностями или особенностями цвета), которые указывают на их относительную близость и в то же время измеряются проще, чем геометрические параллаксы.

Быстрое развитие техники позволяет уже сейчас эффективно применять на новом уровне и старые, проверенные методы определения расстояний. С помощью измерений, выполненных телескопом, который был установлен на космической обсерватории — искусственном спутнике Земли «Гиппаркос», в конце прошлого века удалось измерить параллаксы около 100 тыс. звёзд. Сейчас готовятся новые наземные и космические проекты, которые благодаря повышению эффективности наблюдений, новым инструментам и методам регистрации света позволят определить параллаксы до миллиарда небесных светил. В случае успешного завершения этих проектов, ты, читатель, уже во втором десятилетии XXI в. сможешь получить сведения (хотя бы заглянув в специальный каталог) о любой из полумиллиона ближайших звёзд, находящихся в пределах 100 пк от Солнца.

Кто же они, наши соседи? Большинство (почти $2/3$) из звёзд в непосредственной солнечной окрестности составляют очень слабые красные карлики — их массы в 3—10 раз меньше, чем у Солнца. Звёзды, по-

хожие на Солнце, очень редки, их всего 6 %. Белых и желтоватых звёзд (спектральных типов А и F) с массами от 1,5 до 2 солнечных вообще единицы. Более массивных звёзд (а астрономам известны звёзды с массами примерно до 100 солнечных) в окрестностях Солнца не найдено, что указывает на их большую редкость. Кроме «живых» звёзд учёные обнаружили ещё 18 белых карликов — это остатки звёзд, которые исчерпали всю свою энергию и медленно остывают, высвечивая имеющиеся запасы тепла. С очень большим трудом обнаруживаются и слабые объекты, которые из-за малой массы никогда не станут звёздами, — коричневые карлики. Их пока насчитывают лишь около двух десятков.

Многие наши соседи (31 %) группируются в кратные системы (двойные, тройные и т. д.), в которых компоненты связаны друг с другом силами гравитации. Чем выше степень кратности, тем меньше таких систем. Некоторые члены этих систем невидимы для современных инструментов (из-за своей близости к сотоварищам или очень слабого блеска). В отдельных случаях невидимые компоненты, как выяснилось, имеют настолько малые массы (менее 0,01 массы Солнца), что их уже нельзя считать звёздами, скорее, это очень большие планеты. Напомним, что масса самой крупной планеты Солнечной системы — Юпитера — составляет около 0,001 массы Солнца, т. е. эти компоненты в несколько раз массивнее Юпитера. Невидимые компоненты астрономы находят косвенными методами — по искажениям, вносимым их гравитационными полями в орбитальное движение видимых членов систем. Обнаружение таких спутников требует длительных и очень точных измерений.

Какая же из нескольких сотен близких звёзд может претендовать



на титул ближайшей соседки Солнца? Сейчас ею считается компонент известной тройной системы α Кентавра — слабый красный карлик Проксима (*лат.* «ближайшая»). Расстояние до Проксимы 1,31 пк, свет от неё идёт до нас 4,2 года. Будущие исследования покажут, насколько Проксима достойна своего имени и нет ли звёзд, которые расположены ещё ближе к Солнцу.

Изучая окрестности Солнца, можно лучше понять природу звёзд малых масс — их образование (по распределению ближайших звёзд видно, что они в основном рождаются небольшими группами) и эволюцию. В окрестностях Солнца наблюдаются звёзды солнечного типа, находящиеся на различных этапах своей жизни: это или похожая на Солнце жёлтая звезда, или постаревший красный гигант, или белый карлик. Количественное соотношение звёзд разных типов хорошо согласуется с современной теорией эволюции звёзд.

Статистика околосолнечного населения даёт представление об эволюции Галактики. Например, распределение по светимости (функция светимости) звёзд солнечного типа показывает, что возраст диска близок к 10 млрд лет. Анализ химического состава близких звёзд позволяет восстановить историю обогащения Галактики синтезированными в звёздах химическими элементами, а следовательно, и всю её «биографию».

Ближние звёзды играют важную роль при разработке и применении косвенных методов определения расстояний до звёзд. Косвенный метод основан на связи некоторых измеряемых свойств звезды с расстоянием до неё, а выявить эту зависимость и её числовые характеристики можно лишь по тем объектам, расстояния до которых измеряются напрямую, т. е. по ближним звёздам. Когда такая связь установлена, метод можно использовать и для очень далёких звёзд.

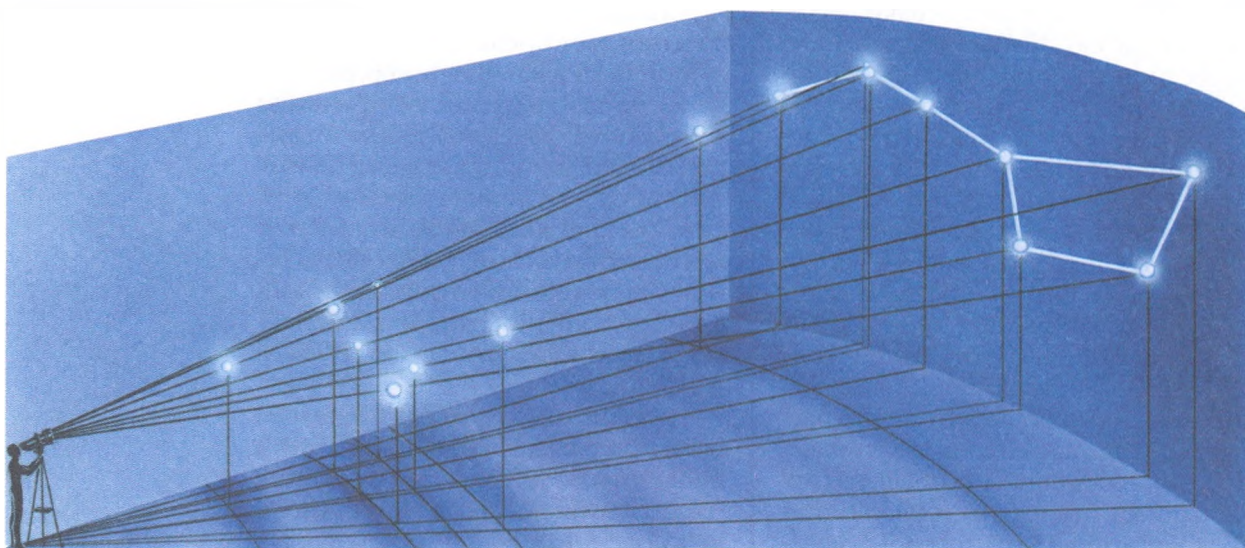
СКОПЛЕНИЯ И АССОЦИАЦИИ ЗВЁЗД

С незапамятных времён в причудливых сочетаниях светил на ночном небе нашим предкам виделись очертания людей и животных, мифических чудовищ, а то и предметов домашнего обихода. Чтобы подчеркнуть связность звёздного рисунка, люди издревле объединяли звёзды в обособленные группы — созвездия. Теперь мы знаем, что картины созвездий практически всегда составляются из светил, которые лишь случайно проецируются на один участок неба, но находятся при этом на разных расстояниях. Но есть среди звёзд группировки и другого рода — реальные звёздные системы связанных друг с другом светил.

Во времена Исаака Ньютона астрономы полагали, что звёзды более-менее однородно распределены по

Участок
Млечного Пути.





Некоторые из звёзд Ковша Большой Медведицы находятся далеко друг от друга, но для земного наблюдателя проецируются на один и тот же участок небесной сферы.

безграничной Вселенной. Однако в XVIII в. при помощи самого большого для того времени телескопа английский астроном Уильям Гершель в подробностях изучил распределение на небе не только ярких, но и слабых звёзд. Построив первую карту Галактики, Гершель обнаружил, что многие звёзды собраны в тесные группы, которые он назвал «звёздными кучами» или *скоплениями*. Всего Гершель описал более 2 тыс. скоплений. Столь большое их число убеждало учёного в том, что по крайней мере некоторые из них являются не кажущимися, а реальными звёздными группами, члены которых связаны взаимным тяготением.

В XIX в. выяснилось, что «звёздные кучи» Гершеля разделяются на два класса. Одни, названные *шаровыми*, обладают сферической формой и исключительно богаты звёздами, так что их центральные части (ядра скоплений) выглядят как сплошные светящиеся пятна. Эти объекты сосредоточены в основном лишь в одной стороне неба, в полусфере с центром в созвездии Стрелец. Скопления второго класса — *рассеянные* — встречаются только в пределах полосы Млечного Пути или вблизи него.

По сравнению с шаровыми они обладают меньшей звёздной плотностью и менее чёткой формой.

Со времён Гершеля наши познания о скоплениях значительно расширились. Сейчас звёздными скоплениями называют группы звёзд, связанных общим происхождением, общим положением в пространстве и общим движением. Деление на шаровые и рассеянные сохранилось, но во второй половине XX столетия добавился ещё один тип звёздных группировок — *ассоциации*.

Более подробные исследования показали, что различия между шаровыми и рассеянными скоплениями не ограничиваются внешним видом, количеством звёзд и степенью скученности. Они распространяются также на химический состав, положение в Галактике, возраст и типы звёзд, входящих в скопление. Новые мощные наблюдательные инструменты позволяют изучать скопления не только в нашей, но и в других, иногда очень далёких галактиках. В целом разделение скоплений на основные типы обнаруживается и там, хотя, конечно, диапазон их свойств оказывается гораздо шире, чем в одной только нашей Галактике.



ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ

В небольшой телескоп шаровое скопление выглядит как очень тесная группа звёзд, имеющая ярко выраженную сферическую или слегка сплюснутую форму. Звёзды в шаровом скоплении сильно сосредоточены к центру. Только наблюдения с очень высоким угловым разрешением, например на космическом телескопе «Хаббл», позволяют рассмотреть в ядре шарового скопления отдельные звёздочки. Крупнейшие скопления содержат свыше миллиона звёзд и имеют диаметры от 20 до 100 пк.

Шаровые скопления — старейшие объекты нашей Галактики: они образовались одновременно с ней. Когда возраст скоплений был ещё невелик, в них входили очень разные по массе звёзды: от лёгких, в несколько раз менее массивных, чем Солнце, до гигантов, масса которых превышала солнечную в десятки раз. В массивных звёздах все процессы идут интенсивнее, они быстро растрачивают свой запас энергии и «умирают». Поэтому сейчас в шаровых скоплениях остались лишь маломассивные звёзды, да и те в большинстве своём находятся на поздних стадиях эволюции. Зная, сколько в скоплении звёзд различной массы, можно определить, как давно оно возникло. Возраст шаровых скоплений, оценённый таким образом, превышает 12 млрд лет.

Массивные звёзды, бывшие когда-то членами этих звёздных систем, не пропали бесследно. После них остались белые карлики, нейтронные звёзды и, возможно, чёрные дыры. Чаще всего они обнаруживают себя по гравитационному взаимодействию с другими членами скопления. Результатами такого взаимодействия являются наблюдаемые в шаровых скоплениях вспышки новых звёзд, пульсирующие рентгеновские и радиоисточники — пульсары.

Шаровое звёздное скопление М 3. Изображения звёзд в центре сливаются, но это следствие оптических эффектов при фотографировании. На самом деле, несмотря на значительную пространственную концентрацию звёзд в скоплении, они не только не соприкасаются, но и практически никогда не сталкиваются друг с другом.

Старые звёзды на определённом этапе эволюции теряют устойчивость и начинают регулярно менять яркость — становятся переменными. Подобных звёзд — короткопериодических цефеид — в шаровых скоплениях открыто очень много. По периоду изменения блеска такой звезды и её видимой яркости можно вычислить расстояние до неё. Измерения периодов цефеид в шаровых скоплениях позволили определить степень их удалённости от Солнца. Расстояния до всех наблюдаемых шаровых скоплений оказались очень велики — не менее тысячи парсек. Сейчас известно свыше 150 шаровых



Шаровое звёздное скопление М 13 в созвездии Геркулес.





скоплений, всего же их в Галактике может быть несколько сотен.

Родившись одновременно с Галактикой, шаровые скопления сохранили химический состав гигантского догалактического облака, из которого они сформировались. Его характерной особенностью является низкое содержание тяжёлых химических элементов, которые образуются только на конечных стадиях эволюции звёзд. Во время возникновения шаровых скоплений в Галактике тяжёлых атомов было ещё очень мало, поэтому эти скопления содержат в десятки и даже сотни раз меньше элементов тяжелее гелия, чем Солнце.

История образования шаровых скоплений отразилась на их пространственном распределении в Галактике: они располагаются сферически симметрично относительно её центра (для земного наблюдателя он находится в созвездии Стрелец), сильно концентрируясь к нему. Характер распределения скоплений не изменился и после того, как догалактическое облако сжалось, образовав вращающийся диск.

В дальнейшем образование звёзд происходило в газовом диске Галактики. В нём и сейчас рождаются звёздные скопления, но теперь уже исключительно менее массивные, рассеянные. В некоторых других

галактиках молодые скопления бывают не только рассеянными, но и шаровыми.

РАССЕЯННЫЕ СКОПЛЕНИЯ

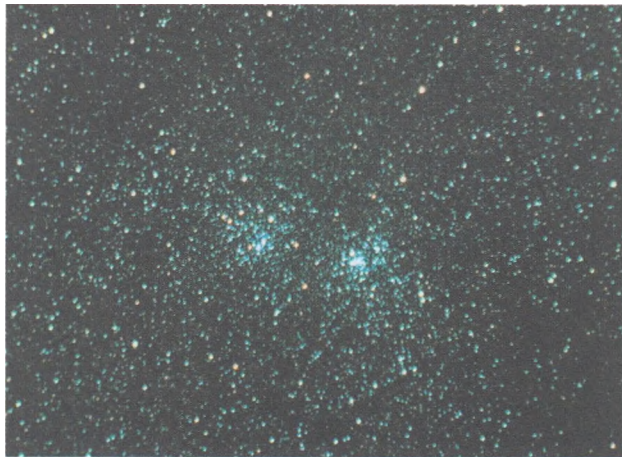
Рассеянных скоплений известно гораздо больше, чем шаровых, хотя открывать их значительно труднее. Из-за низкой звёздной плотности их легко спутать с «посторонними» звёздами, наблюдаемыми в том же направлении. Выделить реальные группы звёзд можно, исследуя их движение в пространстве и удаление от Солнца. Если звёзды, находящиеся примерно на одинаковом расстоянии от нас, движутся в одном и том же направлении, скорее всего, они действительно связаны в одну систему. Всего сейчас обнаружено более 1200 рассеянных скоплений. Самые известные из близких скоплений — Плеяды и Гиады в созвездии Телец. Из-за многочисленности рассеянных скоплений в Галактике некоторые из них оказались близки к Солнцу. Например, до скопления Гиады всего 40 пк.

Как правило, рассеянное скопление состоит из нескольких сотен или тысяч звёзд, наиболее богатые содержат около 10 тыс. членов. Масса рассеянных скоплений невелика, и их

Рассеянное звёздное скопление Плеяды в созвездии Телец. Эти звёзды образовались из одной газопылевой туманности около 100 млн лет назад.



Рассеянные звёздные скопления χ и h Персея.





гравитационное поле не в состоянии долго противодействовать разрушению скоплений. Просуществовав около миллиарда лет, они растворяются в звёздном океане Галактики. В самых молодых скоплениях сохраняется достаточно плотный межзвёздный газ и звёзды продолжают рождаться из газа у нас на глазах.

В рассеянных скоплениях много массивных ярких светил, переменных и вспыхивающих звёзд различных видов, звёзд с необычным химическим составом. В среднем содержание различных элементов в рассеянных скоплениях близко к солнечному, а также зависит от расстояния до центра Галактики. Чем ближе скопление к центру, тем больше в нём тяжёлых элементов.

АССОЦИАЦИИ

Помимо рассеянных скоплений известен ещё один тип группировок молодых звёзд, объединённых об-

щим происхождением. Это звёздные ассоциации. Они более разрежены, чем скопления, и превосходят последние по размерам: типичная их протяжённость порядка 100 пк. В ассоциации может содержаться от нескольких до нескольких десятков горячих голубых звёзд высокой светимости. Некоторые звёзды в ассоциациях настолько молоды, что ещё не сформировались окончательно.

Ассоциации часто связаны с массивными облаками холодного молекулярного газа, из которого и возникают звёзды. Образовавшиеся массивные звёзды своим мощным излучением и звёздным ветром сообщают межзвёздной среде большую энергию, нагревая окружающий газ и выметая его из ассоциации. В результате звёздная группировка оказывается неустойчивой и, расширяясь, постепенно теряет-ся на фоне окружающих звёзд значительно быстрее, чем рассеянные скопления.

Участок Млечного Пути. Это скопление огромного количества слабых (а значит, в большинстве своём очень далёких) звёзд.

ГАЛАКТИКА И МЕСТО СОЛНЦА В НЕЙ

В XVII столетии, после изобретения телескопа, учёные впервые осознали, насколько велико количество звёзд в космическом пространстве. В 1755 г. немецкий философ и естествоиспытатель Иммануил Кант предположил, что звёзды образуют в космосе группы. Эти группы он назвал «звёздными островами». По мнению Канта, одним из таких бесчисленных островов является Млечный Путь — грандиозное скопление звёзд, видимое на небе как светлая туманная полоса. На древнегреческом языке слово *galaktikós* означает «молочный», «млечный», поэтому Млечный Путь и похожие на него звёздные системы называют галактиками (название нашей сис-





Фотография Млечного Пути. Сфотографирован также пролетающий в момент съёмки метеор.

темы — Млечного Пути — пишется с прописной буквы: Галактика).

Предположение Канта было подтверждено методом звёздных подсчётов, который впервые применил в конце XVIII в. Уильям Гершель. Сущность этого метода заключается в сравнении числа звёзд, попадающих на участки одинаковой площади на различных расстояниях от плоскости Млечного Пути. Такие подсчёты производились неоднократно и привели к следующим основным результатам: во-первых, число слабых звёзд резко убывает при удалении от Млечного Пути; во-вторых, общее количество звёзд к югу от плоскости Млечного Пути несколько больше числа звёзд к северу от него. Так было установлено, что размеры нашей звёздной системы в направлении Млечного Пути значительно превышают её размеры в перпендикулярном направлении, причём Солнце находится чуть выше плоскости симметрии этой системы.

РАЗМЕРЫ И СТРОЕНИЕ ГАЛАКТИКИ

Основываясь на результатах своих подсчётов, Гершель предпринял попытку определить размеры Галактики. Он заключил, что наша звёздная

система имеет конечные размеры и образует своего рода толстый диск, плоскость которого совпадает с плоскостью Млечного Пути. Приняв за единицу расстояния среднее расстояние между звёздами, Гершель получил, что диаметр диска равен примерно 800 единицам, а его толщина — 250 единицам. По современной шкале расстояний это соответствует размеру 6000×1100 световых лет.

Теперь мы знаем, что эта оценка весьма неточна, хотя в целом верно отражает «сплюснутую» структуру Млечного Пути. Дело в том, что кроме звёзд в состав Галактики входят также многочисленные газопылевые облака, которые ослабляют свет удалённых светил. Первые исследователи Галактики не знали о поглощающем веществе и считали, что видят все её звёзды.

Истинные размеры Галактики были установлены только в XX в. Оказалось, что её диск является значительно более плоским образованием, чем предполагали ранее. Диаметр галактического диска превышает 100 тыс. световых лет, а толщина — около 1000 световых лет. По форме Галактика напоминает компакт-диск с утолщением посередине.

Поскольку Солнечная система находится практически в плоскости Галактики, заполненной поглощающей материей, многие детали строения Млечного Пути скрыты от взгляда земного наблюдателя. Однако их можно изучать на примере других галактик, сходных с нашей. Так, в 1940-х гг. наблюдая галактику М 31, больше известную как туманность Андромеды, немецкий астроном Вальтер Бааде (в те годы он работал в США) заметил, что плоский линзообразный диск этой огромной галактики погружён в более разреженное звёздное облако сферической формы — *гало*. Поскольку туманность Андромеды очень похожа на Галактику, Бааде предположил, что подобная структура



имеется и у Млечного Пути. Звёзды галактического диска были названы населением I типа, а звёзды гало (или сферической составляющей) — населением II типа.

Как показывают современные исследования, два вида звёздного населения отличаются не только пространственным положением, но и характером движения, а также химическим составом. Эти особенности связаны в первую очередь с различным происхождением диска и сферической составляющей. Рассмотрим их подробнее.

ГАЛО. Границы Галактики определяются размерами гало. Радиус гало значительно больше размеров диска и по некоторым данным достигает нескольких сотен тысяч световых лет. Центр симметрии гало Млечного Пути совпадает с центром галактического диска.

Состоит гало в основном из очень старых, неярких маломассивных звёзд. Они встречаются как поодиночке, так и в виде шаровых скоплений, которые могут включать в себя более миллиона звёзд. Возраст населения сферической составляющей Галактики превышает 12 млрд лет. Его обычно принимают за возраст

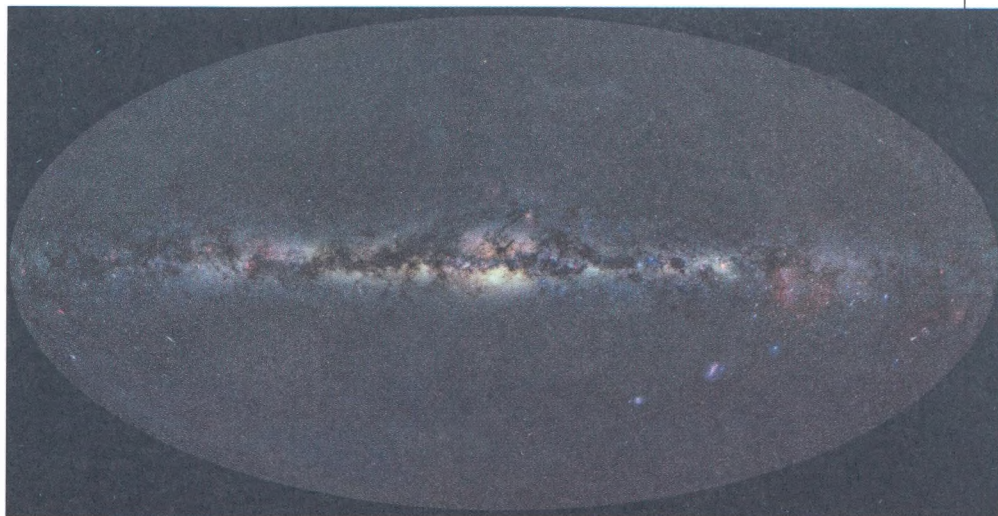
самой Галактики. Характерной особенностью звёзд гало является чрезвычайно малая доля в них тяжёлых химических элементов — в сотни раз меньше, чем в Солнце. Это неудивительно: они родились в ту эпоху, когда синтез тяжёлых элементов во Вселенной только начинался.

Звёзды сферической составляющей концентрируются к центру Галактики. Центральная, наиболее плотная часть гало в пределах нескольких тысяч световых лет от центра Галактики называется *балдж* (англ. «утолщение»).

Звёзды и звёздные скопления гало движутся вокруг центра Галактики по очень вытянутым орбитам. Из-за того, что скорости соседних звёзд гало могут иметь самые различные направления, гало в целом вращается очень медленно.

ДИСК. По сравнению с гало диск вращается значительно быстрее. Скорость его вращения не одинакова на различных расстояниях от центра. Она быстро возрастает от нуля в центре до 200—240 км/с на расстоянии 2 тыс. световых лет от него, затем несколько уменьшается, снова возрастает примерно до того же значения и далее остаётся почти

Видимое излучение всей небесной сферы, приведённое к галактической системе координат: Млечный Путь расположен вдоль экватора. Он представлен звёздами, тёмными пылевыми облаками и яркими областями ионизованного водорода. Видно также гало (район вне экваториальной плоскости). Два ярких пятна правее и ниже центра — Магеллановы Облака, спутники Галактики.





постоянной. Изучение особенностей вращения диска позволило оценить его массу. Оказалось, что она равна примерно 200 млрд масс Солнца.

Звёздное население диска сильно отличается от населения гало. Вблизи плоскости диска концентрируются молодые звёзды и звёздные скопления, возраст которых не превышает нескольких миллиардов лет. Они образуют так называемую плоскую составляющую. Среди них очень много ярких и горячих звёзд. В диске Галактики имеется газ, который также сосредоточен в основном вблизи его плоскости. Он распределён неравномерно, образуя многочисленные газовые облака — от гигантских

облаков протяжённостью в сотни световых лет до маленьких облачков размерами не больше десятой доли парсека.

Основным химическим элементом в Галактике является водород. Кроме того, приблизительно на 1/4 по массе она состоит из гелия. По сравнению с этими двумя элементами остальные присутствуют в очень небольших количествах. В среднем химический состав звёзд и газа в диске, в отличие от гало, почти такой же, как у Солнца.

ЯДРО. Одной из самых интересных областей Галактики считается её центр, или ядро, расположенное

ГАЛАКТИЧЕСКИЕ РАССТОЯНИЯ

При изучении Галактики астрономы сталкиваются с серьёзной проблемой: Солнце находится почти точно в плоскости Млечного Пути, где сосредоточены межзвёздный газ и пыль, а последняя поглощает свет далёких звёзд. Поэтому мы видим лишь часть галактического диска, не далее нескольких килопарсек от Солнца.

Особенно сложно «пробиться» с помощью оптического телескопа к центру Галактики, чтобы изучить его строение и измерить расстояние до него — R_0 . Для астрономов это очень важная величина, задающая масштаб всех прочих расстояний в Галактике. Без неё невозможно определить скорость вращения и массу Галактики, расстояния до далёких звёзд, скоплений и туманностей.

Сначала астрономам даже неясно было, в каком направлении расположен центр Галактики. Впервые это направление «нащупал» в 1917 г. американский астроном Харлоу Шепли. Он предположил, что шаровые звёздные скопления, населяющие гало Галактики и потому видимые на больших расстояниях, симметрично распределены вокруг галактического центра. Заметив, что шаровые скопления в основном видны в направлении созвездий Скорпион, Змееносец и Стрелец, Шепли понял, что где-то там и находится центр Млечного Пути.

В 1940-х гг. инфракрасные телескопы, значительно менее чувствительные к межзвёздному поглощению, чем оптические, указали на большую концентрацию звёзд в созвездии Стрелец. А позднее радиотелескопы, которым пыль вообще не помеха, зафиксировали в этом созвездии мощный радиоисточник Стрелец А. Он-то и совпадает с центром Галактики.

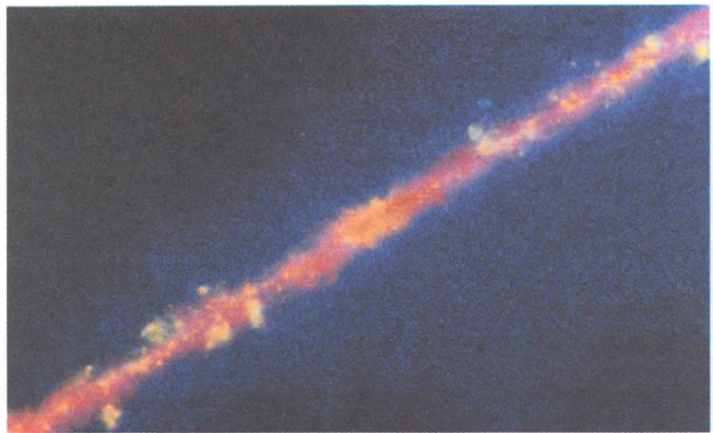
Теперь следовало определить расстояние до него. Шепли по распределению шаровых скоплений оценивал его в 12–16 кпк. При этом он полагал, что Солнце находится на краю галактического диска, диаметр которого, следовательно, около 30 кпк. Главным фактором неопределённости был учёт межзвёздного поглощения: по сей день расстояния до некоторых шаровых скоплений известны с ошибкой до 50 %. Шли годы, и появлялись новые оценки расстояний до звёзд и звёздных скоплений. Расхождения в оценках были довольно существенные. Каждый исследователь, занимающийся этой проблемой, находил своё значение R_0 . И предпочитал использовать именно его.

Но если у каждого астронома свой «мерный шест» в руках, то нет никакого взаимопонимания. Чтобы как-то исправить это положение, в 1963 г. астрономическое сообщество договорилось принять единые значения важнейших величин, характеризующих размеры Галактики (R_0) и скорость её вращения в районе орбиты Солнца (V_0). Было решено придерживаться зна-



в направлении созвездия Стрелец. Видимое излучение центральных областей Галактики полностью скрыто от нас мощными слоями поглощающей материи. Поэтому его начали изучать только после создания приёмников инфракрасного и радиоизлучения, которое поглощается в меньшей степени.

Для центральных областей Галактики характерна сильная концентрация звёзд: в каждом кубическом парсеке их содержатся многие тысячи. Расстояния между звёздами в десятки и сотни раз меньше, чем в окрестностях Солнца. Если бы мы жили на планете около звезды, находящейся вблизи ядра Галактики, на небе были



Изображение центра Галактики в инфракрасных лучах (цвета искусственные). Яркая полоса отмечает плоскость галактического диска, где идёт интенсивное звездообразование.

чений $R_0 = 10$ кпк и $V_0 = 250$ км/с. В 1985 г. Генеральная ассамблея Международного астрономического союза рекомендовала использовать новые значения: $R_0 = 8,5$ кпк и $V_0 = 220$ км/с. Однако далеко не все астрономы согласны с тем, что они точнее старых. Каждый год публикуется три-четыре работы по измерению R_0 и результаты колеблются от 7 до 9 кпк.

Разумеется, астрономы не всегда будут принимать условные значения важнейших величин, характеризующих Галактику. Грандиозные антенные системы — межконтинентальные радиоинтерферометры — уже сейчас позволяют получать очень высокое разрешение — до $0,001''$. А с запуском в ближайшие годы на околоземную орбиту крупных радиоантенн их разрешающая способность существенно повысится и можно будет очень точно измерить R_0 .

А пока радиоастрономы применяют самые разнообразные индикаторы расстояния: звёзды-гиганты, молекулярные облака, светлые туманности, источники мазерного радиоизлучения (см. статью «Радиоастрономия»). Известно, к примеру, что вблизи центра Галактики есть гигантское облако межзвёздного газа Стрелец В2, в котором наблюдается несколько конденсаций, движущихся в разных направлениях и излучающих в линии молекулы воды. Условия в облаке таковы, что это излучение усиливается естественным мазерным эффектом и спектральные

линии молекулы H_2O выглядят очень мощными и узкими. По изменению их положения в спектре (эффект Доплера) можно с высокой точностью определять лучевую скорость конденсаций (т. е. скорость их движения вдоль луча зрения). А отмечая в течение нескольких лет положение источников друг относительно друга, удаётся измерить их взаимное угловое перемещение перпендикулярно лучу зрения.

Если считать, что средние скорости конденсаций вдоль и поперёк луча зрения равны, то, сопоставляя угловую скорость их движения поперёк луча зрения с лучевой скоростью, легко вычислить расстояние до облака. Это и будет расстояние до центра Галактики, поскольку облако совсем рядом с ним. Таким методом астрономы определили, что R_0 близко к 7 кпк.

* * *

Итак, за последние 80 лет в результате работы астрономов Солнце почти вдвое «приблизилось» к центру Галактики. Казалось бы, и размер всей нашей звёздной системы должен быть уменьшен вдвое. Но нет, за эти годы были открыты звёзды, скопления и облака газа на расстоянии около 100 кпк от центра Галактики. Так что диаметр нашего звёздного дома стал почти 200 кпк! Интересно, каким предстанет Млечный Путь в результате работы нового поколения астрономов?



бы видны десятки звёзд, по яркости сопоставимых с Луной, и многие тысячи более ярких, чем самые яркие звёзды нашего неба.

Помимо большого количества звёзд в центральной области Галактики наблюдается околядерный газовый диск, состоящий преимущественно из молекулярного водорода. Его радиус превышает 1000 световых лет. Ближе к центру отмечаются области ионизованного водорода и многочисленные источники инфракрасного излучения, свидетельствующие о происходящем там звездообразовании. В самом центре Галактики предполагается существование массивного компактного объекта — чёрной дыры массой в четыре миллиона масс Солнца. В центре находится также яркий радиоисточник Стрелец А, происхождение которого связывают с активностью галактического ядра.

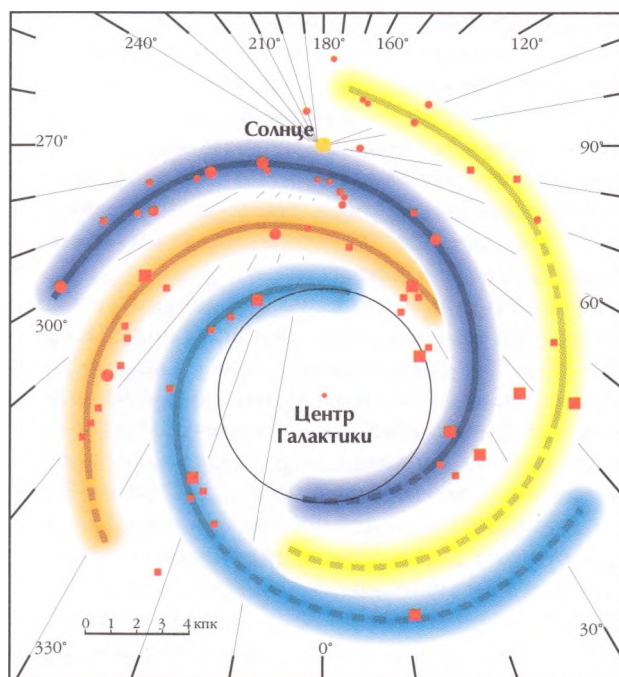
СПИРАЛЬНЫЕ ВЕТВИ. Одним из наиболее заметных образований в дисках галактик, подобных нашей, являются *спиральные ветви* (или

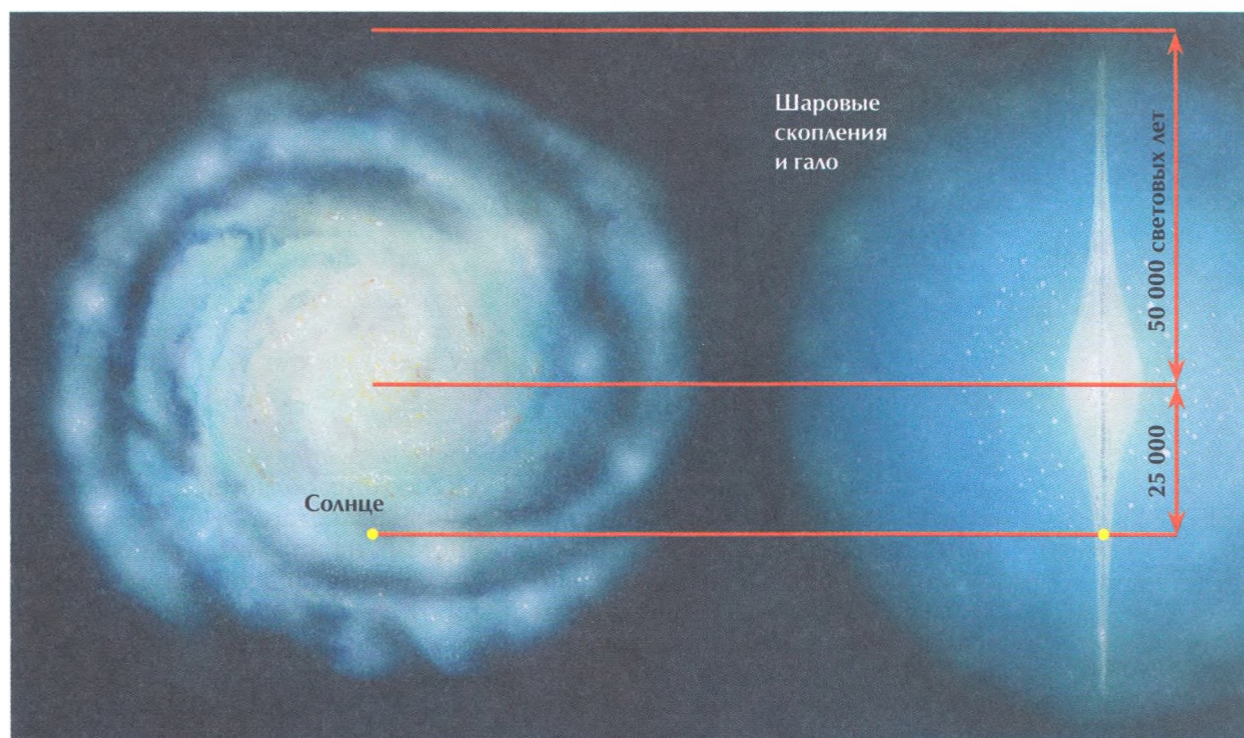
рукава). Они и дали название этому типу объектов — *спиральные галактики*. Спиральная структура нашей Галактики очень хорошо развита. Вдоль рукавов в основном сосредоточены самые молодые звёзды, многие рассеянные звёздные скопления и ассоциации, а также цепочки плотных облаков межзвёздного газа, в которых продолжают образовываться звёзды. В спиральных ветвях находится большое количество переменных и вспыхивающих звёзд, в них чаще всего наблюдаются взрывы некоторых типов сверхновых. В отличие от гало, где какие-либо проявления звёздной активности чрезвычайно редки, в ветвях продолжается бурная жизнь, связанная с непрерывным переходом вещества из межзвёздного пространства в звёзды и обратно. Галактическое магнитное поле, пронизывающее весь газовый диск, также сосредоточено главным образом в спиральных.

Спиральные рукава Млечного Пути в значительной степени скрыты от нас поглощающей материей. Под-

Спиральная структура Галактики. Схема построена на основании выявленного распределения областей ионизованного водорода (отмечены кружками и квадратами). Солнце расположено между спиральными рукавами Стрельца и Персея.

-  Главный рукав
-  Промежуточный рукав
-  Внутренний рукав
-  Внешний рукав
-  Оптические наблюдения
-  Радионаблюдения





робное их исследование началось после появления радиотелескопов. Они позволили изучать структуру Галактики по наблюдениям радиоизлучения атомов межзвёздного водорода, концентрирующегося вдоль спиралей. По современным представлениям, спиральные рукава связаны с волнами сжатия, распространяющимися по диску галактики. Проходя через области сжатия, вещество диска уплотняется, а образование звёзд из газа становится более интенсивным. Причины возникновения в дисках спиральных галактик такой своеобразной волновой структуры не вполне ясны.

МЕСТО СОЛНЦА В ГАЛАКТИКЕ

В окрестностях Солнца удаётся проследить участки двух спиральных ветвей, удалённых от нас примерно на 3—4 тыс. световых лет. По созвездиям, где проходят участки этих рукавов, их называют рукавами Стрельца и Персея. Солнце находится почти посередине между этими спиральными рукавами. Правда, сравнительно близко (по галактическим меркам) от нас, в созвездии Орион, проходит ещё одна, не столь явно выраженная ветвь. Она может быть ответвлением одного из основных спиральных рукавов Галактики или самостоятельным небольшим рукавом.

Расстояние от Солнца до центра Галактики составляет 23—28 тыс. световых лет, или 7—9 тыс. парсек. Иными словами, Солнце расположено посередине между центром и краем диска.

Вместе со всеми близкими звёздами Солнце вращается вокруг центра Галактики со скоростью 220—240 км/с, совершая один оборот примерно за 200 млн лет. За время своего существования Солнце и планеты облетели вокруг центра Галактики не больше 30 раз. Тем не менее

Схема строения Галактики.



расчёты показывают, что этого времени достаточно, чтобы полностью «оторваться» от того окружения, в котором родилась Солнечная система. Те звёзды, что окружают нас сейчас, не имеют ничего общего со звёздным скоплением, в котором около 5 млрд лет назад сформировалось Солнце. Возможно, что это обстоятельство благоприятно для нас. Косвенные признаки указывают, что в эпоху образования Солнца рядом с ним находились массивные звёзды — источники жёсткого излучения, губительного для живых существ. Сейчас нашими соседями являются исключительно безобидные звёзды малых масс.

Ближайшие к нам относительно плотные облака межзвёздного газа находятся на расстоянии примерно 400 световых лет. Последние несколько десятков тысяч лет Сол-

нечная система пробирается сквозь небольшое облачко межзвёздного вещества, которое астрономы называют просто *Местным облаком*. Вместе с этим облачком мы погружены в гигантскую каверну, пустоту в межзвёздной среде, заполненную очень горячим и разреженным газом с температурой около миллиона градусов и плотностью около 1 частицы в кубическом дециметре. Эту каверну поперечником в сотни световых лет (её называют *Местным пузырьком*), вероятно, «выжгли» в межзвёздной среде вспышки сверхновой в одной из соседних областей звёздообразования. Благодаря этому Солнечная система на протяжении последних нескольких миллионов лет избавлена от воздействия более плотного межзвёздного вещества. Впрочем, эта среда вряд ли оказала бы заметное влияние на Солнце и планеты.





ЗВЁЗДНЫЕ ОСТРОВА

МНОГООБРАЗИЕ ГАЛАКТИК

Галактики — это большие звёздные системы, в которых звёзды связаны друг с другом силами гравитации.

Самые крупные галактики включают в себя триллионы звёзд. Млечный Путь можно считать довольно большой системой: в ней более 200 млрд звёзд. Самые маленькие галактики содержат в миллион раз меньше звёзд и скорее напоминают шаровые скопления, только значительно больше по размерам. Диапазон диаметров наблюдаемых галактик также впечатляет: от нескольких сотен до сотен тысяч световых лет.

Помимо звёзд и планетных систем вокруг некоторых из них галактики включают в себя межзвёздный газ, межзвёздную пыль, а также продукты звёздной эволюции: белые

карлики, нейтронные звёзды, чёрные дыры.

Часть газа в галактиках просто рассеяна между звёздами, а часть образует облака различной массы и плотности, в том числе массивные молекулярные облака с массой до миллиона масс Солнца. Небольшая доля газа приходится на яркие туманности вокруг горячих звёзд. Существенная часть массы галактик приходится на *тёмную* (небарионную, т. е. не состоящую из атомов) *материю*, которая взаимодействует с обычным веществом только через гравитационное поле. Видимая материя погружена в протяжённое тёмное гало. В крупных галактиках масса тёмной материи сравнима с массой обычного вещества,



если ограничиться теми пределами, где ещё наблюдаются звёзды и газ. В карликовых звёздных системах тёмной материи может быть в несколько раз больше. Полная масса тёмного гало, простирающегося намного дальше видимой материи, как правило, на порядок выше массы обычной, барионной, материи, содержащейся в галактике.

Согласно наиболее распространённой схеме классификации по внешнему виду и структуре, предложенной Э. Хабблом, галактики принято относить к одному из четырех *морфологических типов*.

Эллиптические галактики составляют около четверти от общего числа галактик высокой светимости. Их принято обозначать буквой E, к которой добавляется цифра от 0 до 6, соответствующая степени уплощения системы (E0 — «шаровидные» галактики, E6 — наиболее «сплюснутые»). На фотографиях они выглядят как нерезкий эллипс, яркость которого быстро спадает от центра. Цвет у эллиптических галактик красноватый, так как состоят они преимущественно из старых звёзд. Холодного газа в таких системах почти нет, но наиболее массивные из них заполнены очень разреженным горячим газом температурой более миллиона градусов.

Эллиптическая галактика М 87 в созвездии Дева.



Спиральные галактики — это галактики, обладающие звёздными дисками, в которых присутствуют спиральные ветви. Если диск галактики наблюдается с ребра, то по внешнему виду она напоминает чечевицу или двояковыпуклую линзу. Диск погружён в разреженное слабосветящееся сфероидальное облако звёзд — гало. К этому классу принадлежит половина всех наблюдаемых галактик в «локальной области» Вселенной. Обозначают спиральные галактики буквой S. Системы с гладкими, туго закрученными спиральными ветвями



Галактика М 100.

Спиральная галактика NGC 891, видимая с ребра.





Спиральная галактика М 33 в созвездии Треугольник в ультрафиолетовых лучах.



Галактика с баром NGC 1365.



относят к типу Sa. В них выделяется яркий и протяжённый балдж (центральное шарообразное утолщение), а рукава, наоборот, слабоконтрастные и размытые. Если же спирали более мощные и чёткие, а центральное утолщение менее заметно, то такие галактики принадлежат к типу Sb. Галактики с ключковатой спиральной структурой, балдж у которых отсутствует или едва заметен, относятся к типам Sc или Sd. У части спиральных систем (по некоторым оценкам, более половины от общего числа) в центральной области имеется вытянутая звёздная перемычка — *бар*. В этом

случае к их обозначению после буквы S добавляется B (например, SBc).

Линзовидные галактики — это промежуточный тип между спиральными и эллиптическими. У них есть балдж, гало и диск, но нет чётких спиральных рукавов. Такие галактики обозначаются S0. Среди всех звёздных систем их примерно 20 %.

Все прочие галактики, в которых отсутствует симметрия, Хаббл классифицировал как *неправильные галактики* (обозначение Ir или Irr). Для них характерна неправильная, ключковатая форма. В таких галактиках содержится много газа — иногда более 50 % их общей массы, и активно рождаются звёзды.

Помимо нормальных (больших и сравнительно ярких) галактик наблюдается множество небольших, карликовых звёздных систем. Открытие семейства *карликовых галактик* началось с 1930-х гг. В те времена американский астроном Харлоу Шепли обнаружил два слабых, еле заметных скопления звёзд в созвездиях Скульптор и Печь (южное полушарие неба). Природа их оставалась неясной до тех пор, пока не были измерены расстояния до них. Слабые скопления звёзд оказались внегалактическими объектами, само-

Галактика М 104 (Сомbrero) в созвездии Дева.



стоятельными карликовыми звёздными системами очень низкой плотности. Это вызвало интерес к слабым галактикам с низкой поверхностной яркостью, и через некоторое время было известно уже множество карликовых галактик. Количество карликовых звёздных систем значительно превышает нормальные: в нашей Местной группе, например, насчитывается пять нормальных и несколько десятков (сейчас их известно около 50, но число может вырасти) карликовых галактик. Галактик с хорошо развитыми спиральными ветвями среди карликов не встречается.

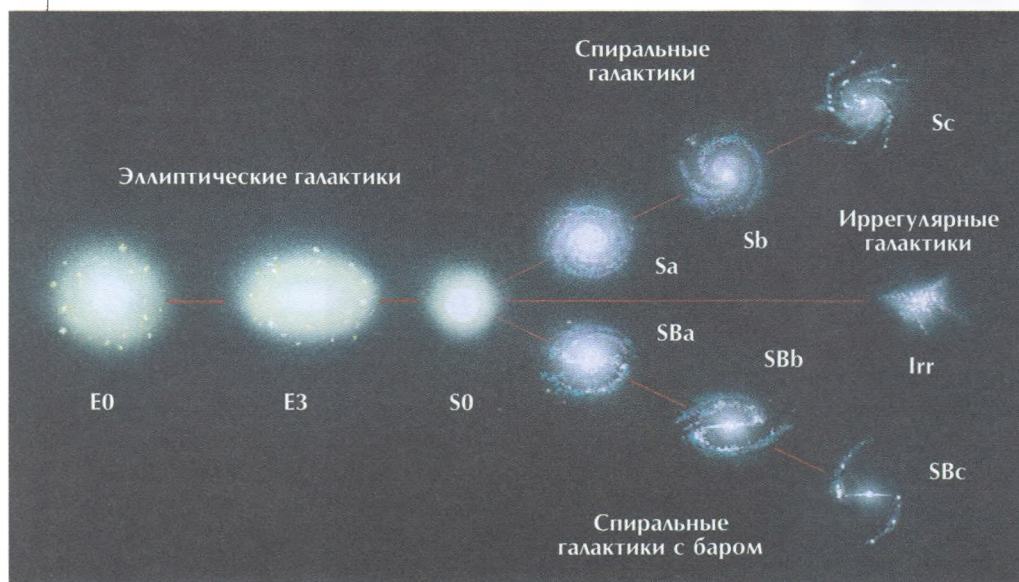
Карликовые галактики обозначают буквой d (от *англ.* dwarf — «карлик»). Их можно разделить на карликовые эллиптические dE, карликовые сфероидальные dSph (Sph — сокращение от *англ.* sphere — «сфера»), карликовые неправильные dIr и карликовые голубые компактные галактики dBCG (здесь BCG — сокращение от *англ.* blue compact galaxies — «голубые компактные галактики»).

Карлики dE отличаются от нормальных эллиптических галактик главным образом размерами и массой. Это фактически те же эллипти-

ческие галактики, только с гораздо меньшим числом звёзд. Состоят они в основном из старых звёзд небольшой массы, содержат очень мало газа и пыли.

Карликовые сфероидальные галактики во многом похожи на карликовые эллиптические, но гораздо более разрежены. Они образованы старыми водородно-гелиевыми звёздами с очень низким содержанием тяжёлых химических элементов. Последнее обстоятельство накладывает отпечаток на физические свойства этих звёзд: они более горячие, более голубые, и эволюция их протекает несколько иначе, чем у звёзд с «солнечным» химическим составом.

Другие типы карликовых галактик — dIr и dBCG — это небольшие по размерам и массе системы, как правило очень богатые газом (в некоторых случаях газа по массе больше, чем звёзд). Основное различие между ними заключается в том, что dBCG-галактики более компактны и в них наблюдается интенсивное звёздообразование, причём рождается большое число голубых массивных звёзд. Благодаря этому галактики имеют голубой цвет.



Морфологическая классификация галактик по Хаббл. Различные типы галактик расположены на схеме таким образом, что относительное содержание в них газа и молодых звёзд увеличивается слева направо.



В последние годы была открыта ещё одна разновидность карликовых галактик. Это карликовые сверхкомпактные галактики (UCD, или *ultracompact galaxies*), которые содержат мало газа, но концентрация звёзд в них особенно велика. Они напоминают центральные области обычных, не карликовых галактик. С большого расстояния эти галактики по виду можно принять за звёзды. Образовались UCD, скорее всего, в результате почти полного разрушения обычных галактик (например, при проходе через центральные области скоплений галактик), когда от них остаётся лишь наиболее плотная центральная часть.

Сравнительно низкая светимость затрудняет наблюдения карликовых галактик с очень больших расстояний, поэтому среди наблюдаемых галактик их значительно меньше, чем галактик высокой светимости. Но на самом деле карликовые галактики образуют самый многочисленный класс галактик в природе.

Невооружённым глазом на тёмном небе можно заметить лишь одну галактику в Северном полушарии и две — в Южном. Ближайшими к нам и самыми яркими на небе галактиками являются Магеллановы Облака, не наблюдаемые в средних широтах Северного полушария. Эти галактики выглядят как два туманных облачка, подобно двум оторвавшимся кусочкам Млечного Пути. Во время кругосветного путешествия Фернана Магеллана в 1519—1521 гг. его спутник и летописец Антонио Пигафетта описал Облака в своих путевых заметках, а после гибели знаменитого мореплавателя он предложил назвать Облака Магеллановыми — Большим и Малым.

Магеллановы Облака — одни из самых протяжённых астрономических объектов на небе. Большое Магелланово Облако (БМО) имеет протяжённость более 5° , т. е. 10 види-



мых диаметров Луны. Малое Магелланово Облако (ММО) — чуть более 2° . На фотографиях же, где удаётся зафиксировать и их слабые внешние районы, размеры Облаков равны соответственно 10° и 6° . Если свет от БМО собрать в одну точку на небе, то получится объект, сравнимый по блеску с яркими звёздами. Свет от БМО идёт к нам около 200 тыс. лет, а от ММО — около 170 тыс. лет. Оба Облака относятся к классу Ir (неправильные галактики).

Жители Северного полушария невооружённым глазом с трудом, но всё же могут увидеть небольшое туманное пятно в созвездии Андромеды, которое является самой близкой к нам спиральной галактикой, к тому же похожей по своим параметрам на нашу. Первое из дошедших до нас упоминаний об этой туманности встречается в трудах арабского астронома X в. ас-Суфи. В своей рукописи, которая содержит подробное описание звёздного неба, он упомянул несколько раз «маленькое облачко», служащее хорошим ориентиром на небе, и даже изобразил его на рисунке. Вряд ли ас-Суфи был первооткрывателем туманности Андромеды.

Большое Магелланово Облако — одна из самых близких к нам галактик.



В его сочинении она фигурирует как уже известный небесный объект.

С появлением телескопов произошло новое «открытие» туманности Андромеды. В 1618 г. её обнаружил немецкий учёный Симон Марий, один из первых астрономов, начавших наблюдения со зрительной трубой. С конца XVII в. туманность стала объектом постоянных наблюдений.

В XVIII в. великий английский астроном Уильям Гершель занялся серьёзным изучением туманностей в построенный им самый крупный по тому времени телескоп. Многие из наблюдаемых туманных пятен оказались звёздными скоплениями — шаровыми или рассеянными. В число этих скоплений Гершель включил и туманность Андромеды, хотя в свой телескоп он не мог разглядеть в ней даже самые яркие звёзды. Тем не менее преждевременный вывод учёного оказался правильным! В конце XIX — начале XX в., когда

в астрономии начала применяться фотография и были созданы большие телескопы, в туманности Андромеды действительно удалось увидеть отдельные наиболее яркие звёзды. Неоднократно предпринимавшиеся попытки определить расстояние до туманности Андромеды давали противоречивые результаты. Некоторые астрономы полагали, что они измерили параллакс звёзд туманности, а значит, расстояние до неё сравнительно невелико и она принадлежит Галактике. Другие учёные опровергали этот факт. В 1922 г. Эрнст Эпик довольно точно оценил расстояние до туманности Андромеды и её массу, исходя из предположения о похожей структуре туманности Андромеды и Млечного Пути. Решающее слово было сказано Эдвином Хабблом. Он открыл в туманности Андромеды переменные звёзды-цефеиды и, сравнив их с уже изученными цефеидами нашей Галактики, окончательно убедился в том, что туманность Андромеды — далёкий, внегалактический объект. Метод определения расстояний с помощью цефеид, применённый Хабблом, до сих пор остаётся одним из самых точных и надёжных (см. статью «Переменные звёзды»). С 1920-х гг. началось серьёзное изучение туманности Андромеды как самостоятельной галактики.

Туманное пятнышко в созвездии Андромеда сегодня предстаёт перед наблюдателем таким, каким оно было примерно 2 млн лет назад: именно столько путешествует свет от туманности Андромеды до нас. По внегалактическим масштабам это очень небольшое расстояние.

Туманность Андромеды — это крупная спиральная система класса Sb, немного превосходящая Галактику по размерам, но чуть уступающая ей по массе. Туманность Андромеды и Млечный Путь — крупнейшие объекты так называемой Местной груп-



Туманность Андромеды — ближайшая к нам спиральная галактика. На фотографии также видны две карликовые эллиптические галактики, являющиеся спутниками туманности Андромеды.



пы галактик. Остальные члены этой группы (а их уже известно более 50) значительно уступают им по массе и размерам. Как показали спектральные измерения, расстояние между туманностью Андромеды и Галактикой в настоящее время медленно сокращается. Вероятно, за время жизни Местной группы (порядка 10 млрд лет) две большие спиральные галактики уже сближались на расстояние, меньшее, чем половина современного.

Туманность Андромеды — это ближайшая звёздная система, похожая по структуре и типу на нашу собственную. Изучать Млечный Путь изнутри мешает сильное поглощение света межзвёздной пылью в плоскости галактического диска. Взгляд же со стороны на туманность Андромеды позволяет лучше понять устройство и нашей звёздной системы.

Хотя основная масса звёзд в близких галактиках образовалась миллиарды лет назад и успела постареть, многие галактики до сих пор «достраивают» себя изнутри, образуя звёзды и звёздные скопления из запасов газа. Эллиптические галактики уже давно израсходовали свой газ, и молодых звёзд в них почти нет. В других галактиках (спиральных и неправильных), где газ ещё остался, звёзды продолжают рождаться. Возникают они большими группами — звёздообразованием бывают охвачены огромные области размерами до нескольких тысяч световых лет. Наиболее массивные звёзды, быстро пройдя свой жизненный путь, взрываются как сверхновые. Взрывы сверхновых вызывают мощные волны сжатия в окружающей межзвёздной среде, а это, в свою очередь, стимулирует «эпидемию» звёздообразования в соседних участках галактики.

Современные масштабы звёздообразования — лишь отголоски то-



Спиральная галактика.

го, что происходило в прошлом. Основная часть галактик образовалась в первые миллиарды лет после начала расширения Вселенной. Свет от рекордно далёких галактик, обнаруженных на сегодняшний день, шёл к нам более 10—12 млрд лет. Наблюдая такие галактики, мы видим их в далёком прошлом, в эпоху их молодости. Согласно современной теории, большие галактики строились из небольших «строительных блоков». Такой блок первоначально состоял из газа, удерживаемого гравитацией внутри небольшого гало из тёмной материи. При слиянии «строительных блоков» тёмная материя образовывала единое гало, а газ охлаждался и формировал плотные облака, где затем образовывались звёзды. В зависимости от начальных условий, таких, как взаимное расположение «строительных блоков», их «скупенность» в пространстве и величина суммарного момента импульса, образовывались те или иные хаббловские типы современных галактик. Наблюдения далёких областей Вселенной, свет от которых идёт к нам несколько миллиардов лет, показывают, что галактики в ту эпоху были меньше размером, ближе друг к другу



Галактика М 51
(Водоворот)
в созвездии
Гончие Псы.

и гораздо чаще взаимодействовали, а средний возраст составляющих их звёзд был значительно меньше, чем у современных гигантских галактик.

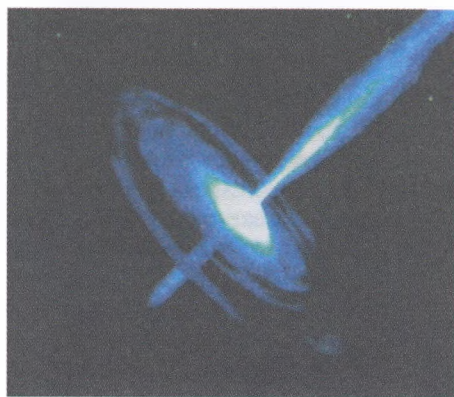
Среди современных, т. е. сравнительно близких, галактик также наблюдается небольшой процент взаимодействующих систем. Сливающиеся галактики имеют, как правило, необычные структурные элементы: хвосты, перемычки, дуги из газа или звёзд, деформированные

спиральные рукава и т. п. Если массы взаимодействующих систем сильно различаются, то большая галактика в конце концов полностью поглощает меньшую, как бы растворяя в себе её газ и звёзды (это явление получило название «галактический каннибализм»). Следы прошлых взаимодействий обнаруживаются при внимательном рассмотрении самых обычных галактик. Так, наша Галактика «доедает» разрушенный карлик в созвездии Стрелец (Sagittarius), а на сверхглубоких снимках самых внешних областей близких спиральных галактик часто видны слабоконтрастные протяжённые звёздные арки и хвосты — остатки некогда поглощённых и разрушенных спутников.

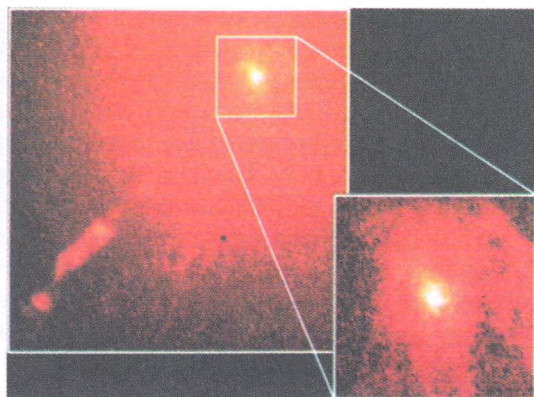
При взаимодействиях и поглощениях активизируется звёздообразование: гравитационные возмущения играют роль «ложки», перемешивающей газ и заставляющей его сгущаться в облака. Также может наблюдаться всплеск активности ядра — выделение большого количества энергии в крошечной центральной области, сопоставимой по размеру с Солнечной системой.

Активным ядром обладает около 1 % массивных галактик — как спиральных, так и эллиптических, причём не обязательно взаимодействующих. Из активного ядра происходит выброс газа, потоков высокоэнергичных электронов и протонов.

► Галактика
с джетами
(газовыми
струями).
Рисунок.



►► Центральная
часть активной
галактики
Дева А
с джетом.





Галактики с активными ядрами часто оказываются мощными источниками радиоизлучения. В ядре рождается также мощное коротковолновое излучение (ультрафиолетовое, рентгеновское, гамма-излучение). Природа активных галактических ядер до сих пор не совсем ясна. Наиболее вероятной причиной активности является наличие сверхмассивных (массой до нескольких миллиардов солнечных масс) чёрных дыр, а энергия активного ядра — это преобразованная гравитационная энергия вещества (газа или звёзд), падающего на эти

чёрные дыры. Гигантские чёрные дыры с массой в миллионы и даже миллиарды солнечных масс в последние годы действительно были открыты в центрах многих крупных галактик, и это даёт основание полагать, что их наличие там является скорее правилом, чем исключением. Ядра галактик с наиболее высокой активностью «забивают» своим излучением миллиарды звёзд этих галактик и наблюдаются с большого расстояния как необычные звёздopodobные объекты, сокращённо — QSO (Quasi-Stellar Objects).

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ

В середине XX столетия крупные телескопы позволили астрономам исследовать положения и формы десятков тысяч далёких галактик. Обращало на себя внимание, что часть галактик (5—10 %) имеют весьма странный, искажённый вид, так что их иногда трудно отнести к какому-то морфологическому типу. Причём почти во всех случаях эти галактики имеют одного или нескольких близких соседей. Иногда две галактики бывают окружены общим светящимся звёздным туманом, а иногда связаны звёздной или газовой перемычкой. Нередко у галактик наблюдаются длинные хвосты из звёзд и разреженного газа, уходящие на сотни тысяч световых лет в межгалактическое пространство. Во всех этих случаях мы наблюдаем результат воздействия галактик друг на друга.

Известный советский астроном Борис Александрович Воронцов-Вельяминов, первым начавший систематическое исследование таких объектов, дал им название *взаимодействующие галактики*. Он описал и занёс в каталоги тысячи взаимодействующих систем, в том числе

редчайшие по своей структуре и форме галактики, необычный внешний вид которых до сих пор озадачивает астрономов.

Статистические исследования привели к выводу, что большинство взаимодействующих галактик — это не случайно встретившиеся странники во Вселенной, а родственники, связанные общим происхождением. В своём движении они то сближаются, то удаляются друг от друга, а в некоторых случаях наблюдается их слияние в единую систему.

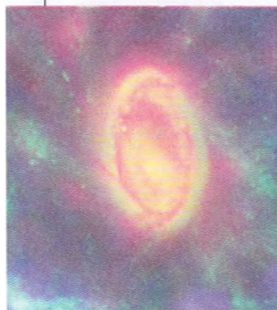
Основной силой, искажающей формы галактик, является сила гравитации со стороны соседней системы. При сближении галактик эта сила сообщает дополнительное ускорение звёздам и газовым облакам, причём неодинаковое для разных частей галактики. Такое неоднородное гравитационное воздействие одного массивного объекта на другой называют приливным. Приливные силы (т. е. гравитационные силы, деформирующие звёздную систему) достаточны для того, чтобы исказить форму галактик или изменить их внутреннюю структуру. Теоретически описать их



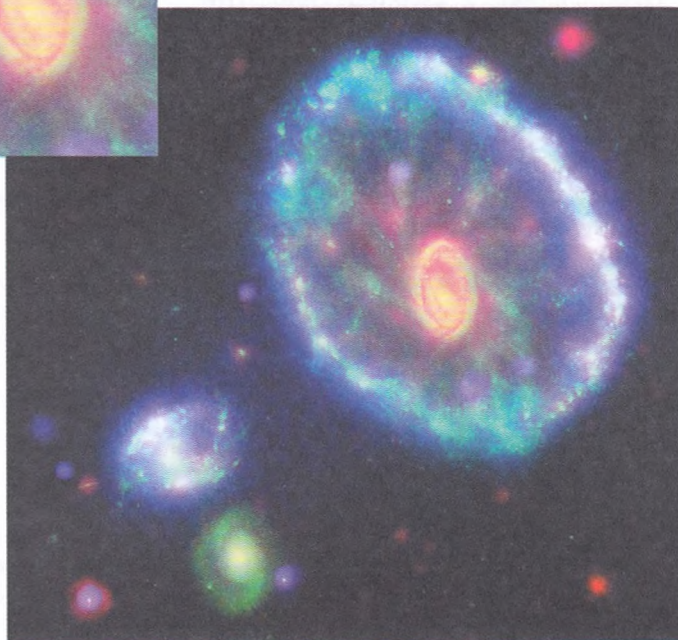
Б. А. Воронцов-Вельяминов



Система взаимодействующих галактик Усы.



Взаимодействующая галактика необычной формы Тележное Колесо. Слева — увеличенное изображение центральной части.



воздействие на галактику довольно сложно. Очень большую роль сыграло построение компьютерных моделей гравитационно взаимодействующих галактик. Те процессы, которые в природе занимают сотни миллионов лет, на экране монитора разворачиваются буквально у нас на глазах. Можно видеть, как при сближении «модельных» звёздных систем искажается их форма, возникают мощные спиральные ветви, рождаются перемычки между галактиками. Когда компьютерные галактики начинают удаляться друг от друга после тесного сближения, у них могут сформироваться длинные хвосты из газа и звёзд, похожие на те, что наблюдаются в реальных галактиках.

Приливные силы очень быстро нарастают при уменьшении расстояния R между галактиками (примерно как $1/R^3$). Характер взаимодействия галактик и его результат зависят, помимо расстояния максимального сближения, от многих факторов. Например, от того, обладает ли данная галактика звёздным диском или нет, много ли в ней межзвёздного газа, каковы относительные размеры галактик и массы, а также в каком направлении и с какой скоростью они движутся относительно друг друга. Поэтому наблюдаемые формы взаимодействующих систем так разнообразны. Но можно сделать одно общее предсказание: если галактики не случайно встретились в пространстве, а образуют систему, то их взаимодействие рано или поздно должно привести к более тесному сближению и последующему слиянию в одну систему. Однако этот процесс может продолжаться миллиарды лет. Такие сливающиеся системы на разных стадиях этого процесса действительно обнаружены среди галактик.

Взаимодействие играет очень большую роль в эволюции галактик. В современную эпоху несколько



процентов галактик входит в состав сильно взаимодействующих систем. Многие галактики должны были испытать сильное взаимодействие, завершившееся слиянием, в далёком прошлом. Сейчас их внешний вид может быть совершенно нормален, и только специальные исследования позволяют заподозрить некогда пережитые ими бурные процессы. Так, ближайшая к нам радиогалактика Кентавр А считается результатом слияния эллиптической системы с дисковой (скорее всего, спиральной), в которой существовал гигантский газопылевой диск. Фактически этот диск виден и сейчас. Он расположен к нам ребром и поэтому выглядит как широкая тёмная полоса, пересекающая галактику. Ещё более интересный случай — галактика М 64, где, по-видимому, слились две дисковые галактики с различным направлением вращения. В итоге во внутренней части этой системы возник газопылевой диск, вращающийся в направлении, противоположном вращению звёздного диска. Небольшие газопылевые диски, нередко наблюдаемые в центре эллиптических галактик — это также вероятный результат захвата и разрушения мелких спутников, богатых газом. Другой пример дают наиболее массивные эллиптические галактики в центральных областях скоплений галактик. По-видимому, они приобрели основную часть своих звёзд путём захвата и разрушения более мелких галактик, пролетавших вблизи них.

Можно предположить, что миллиарды лет назад взаимодействие между галактиками и их слияние происходили значительно чаще — ведь многие мелкие галактики к настоящему времени уже давно успели войти в состав крупных. И действительно, проведённые на космическом телескопе «Хаббл» наблюдения наиболее далёких и слабых галактик, свет от которых летел к нам миллиарды лет,



Примеры взаимодействующих галактик. Съёмка космического телескопа «Хаббл».

показали, что среди них повышена доля искажённых, взаимодействующих систем. Теоретические расчёты подтверждают, что взаимодействие и слияние галактик играло очень большую роль при формировании галактик, которое имело место более 10 млрд лет назад.



Квинтет Стефана. Система близко расположенных взаимодействующих галактик.



Галактики
М 81 и М 82
в созвездии
Большая
Медведица.

Взаимодействие галактик не ограничивается простым изменением их формы и структуры. В некоторых случаях взаимодействие пробуждает активность галактического ядра. Но чаще сильное влияние галактик друг на друга приводит к вспышке звездообразования, при условии, конечно, что в галактиках имеется достаточно много межзвёздного газа.

Объяснить это явление опять-таки помогло компьютерное моделирование. Как оказалось, приливное взаимодействие галактик способствует столкновениям между потоками межзвёздного газа, что приводит к формированию массивных облаков холодного газа, из которых образуются звёзды. Самая близкая к нам галактика с мощной вспышкой звездообразования — это неправильная галактика М 32, взаимодействующая с гигантской спиральной галактикой М 81 в созвездии Большая Медведица.

Нашу Галактику можно отнести к числу слабо взаимодействующих. Она испытывает гравитационное воздействие со стороны близких спутников — Большого и Малого Магеллановых Облаков. Влияние нашей Галактики на эти небольшие системы намного сильнее и драматичнее: проходя на близком расстоянии от неё, они разрушаются. Через несколько миллиардов лет Магеллановы Облака войдут в нашу Галактику и постепенно растворятся в ней.

ЧТО ТАКОЕ СКРЫТАЯ МАССА

Существующие во Вселенной тела и их системы астрономы обнаруживают в основном по излучению. Это может быть видимый свет или другие виды электромагнитных волн — всё равно имеются приёмники излучения, позволяющие их регистрировать. Именно таким способом было установлено, что большая часть видимого вещества Вселенной сосредоточена в звёздах. Кроме них имеются разреженный межзвёздный галактический газ, пыль, тела планетного типа вблизи звёзд, а также горячий межгалактический газ.

Однако не от всех космических объектов можно принять из-

лучение. Например, с Земли нельзя рассмотреть массивные, но очень маленькие компоненты двойных систем (см. статью «Звёздные пары»). А чёрные дыры в принципе не выпускают из своего гравитационного поля никакого излучения. Наличие подобных тел удаётся установить только по их гравитационному воздействию на соседей. Применение такого косвенного метода привело учёных к убеждению, что на самом деле во Вселенной содержится гораздо больше вещества, чем то, которое доступно прямым наблюдениям. Невидимое вещество, обнаруживающее себя по взаимодействию с видимым



посредством сил тяготения, назвали *скрытой массой*.

Впервые о скрытой массе заговорили в 1930-х гг. Швейцарский астроном Фриц Цвикки, измеряя по красному смещению скорости галактик из скопления в созвездии Волосы Вероники, получил неожиданный результат. Лучевые скорости этих галактик оказались слишком высокими и не соответствовали общей массе скопления, определённой по совокупности всех его наблюдаемых галактик (т. е. по видимому веществу). Тогда Цвикки выдвинул смелую гипотезу, что в скоплении присутствует невидимая, скрытая масса, она-то и удерживает вместе галактики, несмотря на их большие относительные скорости. Но самым удивительным было то, что согласно расчётам эта невидимая масса должна была во много раз превышать массу видимую! Та же картина наблюдалась и во многих других скоплениях галактик.

С тех пор гипотеза о существовании невидимого вещества неоднократно привлекалась для интерпретации астрономических наблюдений, и прежде всего для объяснения особенностей движения звёзд и газовых облаков по орбитам в дисках галактик. Если бы основная масса галактики была сосредоточена в звёздах, их орбитальные скорости уменьшались бы по мере удаления от центра. В действительности они не только не уменьшаются, но в ряде случаев даже возрастают. То же самое происходит и в Галактике. Чтобы объяснить это явление, нужно предположить, что далеко за пределами видимых границ галактики простирается несветящаяся, тёмная материя, создающая гравитационное поле. Обычно её называют *тёмным гало*. С его учётом масса гигантских спиральных систем типа Млечного Пути оказывается равной примерно 10^{12} масс Солнца, тогда как вещества,

заключённого в звёздах и межзвёздном газе на порядок меньше.

В 1970-х гг. методами рентгеновской астрономии был открыт горячий межгалактический газ, особенно заметный в скоплениях галактик. Его температура достигает десятков миллионов градусов. Предполагая, что газ находится в стационарном состоянии, по значению его температуры можно оценить характеристики гравитационного поля скопления, в котором он содержится, а следовательно, и полную массу вещества, являющегося источником этого поля. Уже первые результаты рентгеновских наблюдений горячего газа в скоплениях галактик подтвердили присутствие в них скрытой массы, не входящей в состав отдельных галактик.

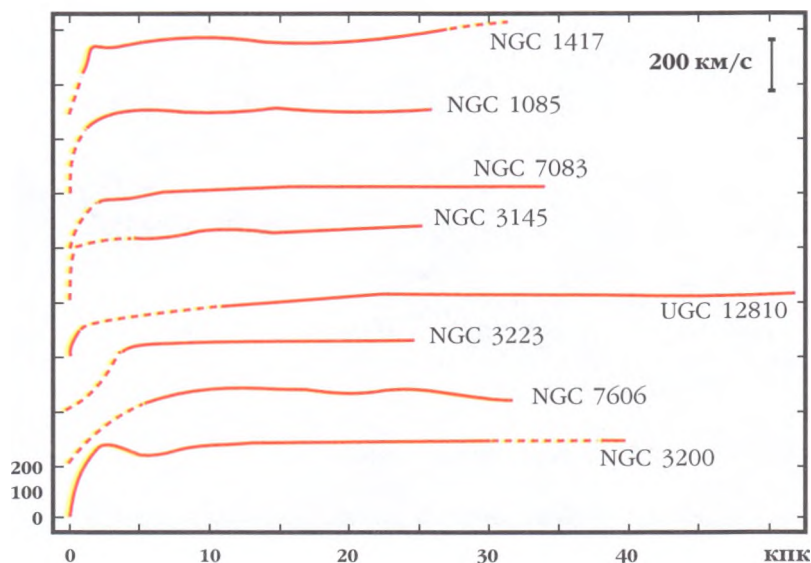
Ещё одно прямое указание на скрытую массу удалось получить при изучении движения галактик в Местной группе. (В Местную группу входят наша Галактика и её ближайшие соседи.) Измерения скоростей галактик Местной группы показали, что и в ней присутствует скрытая масса между галактиками.

Наконец, наблюдения слабых галактик, проведённые с помощью современных чувствительных детекторов излучения — ПЗС-матриц, позволили не просто подтвердить наличие скрытой массы, но и «картографировать» её распределение в скоплениях галактик. Речь идёт о методе так называемого *гравитационного линзирования*, идею которого впервые выдвинул Цвикки ещё в 1937 г. Метод этот основан на том, что гравитационное поле скопления галактик работает как собирающая линза, строя изображения галактик, находящихся за скоплением. При этом изображения галактик становятся ярче и искажаются, вытягиваясь в дуги разной длины с центром, совпадающим с центром масс скопления. Анализируя такие



Фриц Цвикки.





Графики изменения скоростей вращения газа в галактиках в зависимости от расстояния до центра.

изображения, можно восстановить распределение плотности в «линзе», т. е. в скоплении галактик. Оказалось, что создающая тяготение материя простирается далеко за пределы видимой части скопления.

Без тёмной материи нельзя объяснить и свойства пространственных флуктуаций температуры трёхградусного реликтового излучения, измеренные в последние годы спутником WMAP. Из анализа этих данных следует наиболее точное определение вклада тёмной материи в полную плотность энергии во Вселенной — около 20 %, в то время как доля обычного вещества, состоящего из атомов и их ядер, примерно в 5 раз меньше.

Сегодня мы можем достаточно уверенно заключить, что тёмное вещество является одним из основных компонентов Вселенной. Оно образует протяжённые гало галактик и заполняет межгалактическое пространство, концентрируясь к скоплениям галактик.

Однако наличие тёмной массы не может объяснить наблюдаемого ускоренного расширения Вселенной. Потребовалось привлечь гипотезу о существовании ещё более экзотичной материи — так называемой *тём-*

ной энергии, или *энергии вакуума*, которая, в отличие от тёмной массы, равномерно «размазана» по пространству и не концентрируется ни к галактикам, ни к их скоплениям.

Какова же природа невидимого вещества? Этот вопрос ещё далёк от разрешения. Вероятнее всего, скрытая масса создаётся не открытыми пока слабозаимодействующими массивными частицами, существование которых следует из современной физической теории элементарных частиц. Поиски таких частиц усиленно ведутся на самых мощных ускорителях, но пока не увенчались успехом. Частицы всепроникающей тёмной материи, заполняющей Галактику, пытаются уловить и в специализированных подземных лабораториях.

Некоторая часть невидимой массы может всё же состоять из обычных атомов и заключаться в слабосветящихся телах. К слабосветящимся объектам относятся, например, маломассивные звёзды и коричневые карлики — тела, промежуточные между планетами и звёздами, с массой в десятки — сотни масс Юпитера, а также гипотетические реликтовые чёрные дыры с массой от 10^{15} г до сотен масс Солнца. Такие чёрные дыры — своего рода «строительный мусор», оставшийся от эпохи образования галактик, или же остатки первых звёзд, возможно существовавших ещё до рождения галактик. Хотя этих тёмных тел вряд ли хватит для объяснения всей скрытой массы, их поиски активно проводятся. Перспективными в этом отношении являются работы по гравитационному микролинзированию (см. статью «Гравитационные линзы»).

Итак, попытки разобраться, из чего же состоит Вселенная, привели в наше время к весьма любопытной ситуации. В конце XX столетия пришлось



признать, что все изучавшиеся до сих пор астрономические объекты, доступные прямым наблюдениям, составляют лишь небольшую долю космической материи. Это настоящий вызов человеческому знанию!

Новые астрономические наблюдения и новые ускорители частиц должны в ближайшем будущем пролить свет на увлекательную и загадочную проблему невидимого вещества в Галактике и во Вселенной.

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЛИНЗЫ

Гравитационными линзами называют объекты, которые своим полем тяготения заметно искривляют световые лучи, проходящие вблизи или сквозь них. Из-за этого изображение удалённого источника (звезды, галактики, квазара), свет которого проходит вблизи такого объекта, искажается или даже представляется в виде нескольких отдельных изображений. В принципе любое тело способно «собирать» своим гравитационным полем параллельные лучи света в некотором фокусе подобно оптическим линзам (хотя, в отличие от обычной линзы, расстояние до такого фокуса будет очень большим и к тому же различным для лучей, проходящих на разном расстоянии от «линзы»). Но только астрономические объекты огромной массы типа звёзд, галактик или их скоплений могут создавать заметный эффект.

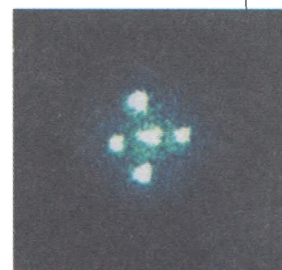
Почему же искривляются световые лучи? Дело в том, что порция света — фотон формально может рассматриваться как частица, обладающая массой. Поэтому вблизи притягивающего тела траектория фотона должна отклоняться от прямой линии (даже в рамках ньютоновской физики). Этот эффект впервые был обнаружен английским астрофизиком Артуром Эддингтоном в 1919 г. по наблюдениям полного солнечного затмения: звёзды, которые были заметны вблизи края солнечного диска, оказались дальше от него, чем должны были быть, если бы свет от них распростра-

нялся по прямой. Угол, на который фотоны отклонялись в поле тяготения Солнца, в точности соответствовал предсказаниям теории относительности Эйнштейна — вдвое больше, чем по ньютоновской теории.

В 1937 г. Фриц Цвикки предложил использовать явление гравитационной линзы, создаваемой скоплениями галактик, для наблюдений далёких объектов, расположенных позади скоплений. Но задача поиска слабых искажений в изображениях далёких источников оказалась настолько сложной, что лишь в 1979 г. была открыта первая гравитационная линза: изображение квазара Q 0957 + 561 имело двойника с тем же спектром и красным смещением. Позже удалось увидеть и саму линзу — гигантскую галактику, оказавшуюся на пути между квазаром и нами.

Сейчас известно множество надёжно установленных гравитационных линз. В основном наблюдаются далёкие квазары, изображения которых «размножены» попадающими на луч зрения близкими галактиками. Почему квазары? Это одни из самых далёких и ярких объектов во Вселенной, а значит, наблюдать явление гравитационной линзы для них намного проще. Ведь чем дальше от нас находится объект, тем больше вероятность того, что на луче зрения попадётся какая-нибудь галактика.

В общем случае расстояния, которые проходит свет от разных изображений одного и того же объекта



Крест Эйнштейна. Эффект гравитационного линзирования создаёт четыре изображения одного и того же квазара.



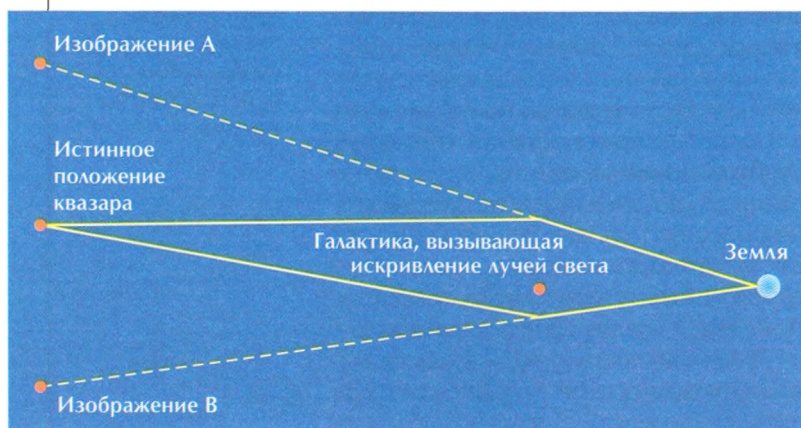
► Скопление галактик как гравитационная линза. Изображения более далёких галактик, видимых сквозь скопление, растянуты в отрезки дуг.

до наблюдателя, не одинаковы. Поскольку излучение от реальных астрономических источников (в частности, от квазаров), как правило, переменное, то по задержке переменности излучения, приходящего от разных изображений одного объекта, можно измерять расстояния до линзирующей галактики и до самого источника.

В конце 1980-х гг. стали наблюдаться гравитационные линзы на скоплениях галактик (реализовалась идея Цвикки!). При этом было обнаружено, что изображения слабых голубых галактик, находящихся за линзирующим скоплением, имеют вытянутую дугообразную форму. По характеру искажения можно судить о распределении вещества в скоплении и о его полной массе.

Если сквозь скопление видно много далёких галактик, то удаётся обнаружить эффект слабого гравитационного линзирования, который проявляется лишь в небольшом искажении формы галактик (изображения немного вытягиваются, и это можно обнаружить, измеряя степень и направление их вытянутости и усредняя по большому числу объектов). По этому эффекту удаётся измерить распределение плотности вещества внутри скопления. Так была измерена масса невидимой (тёмной) материи в ряде скоплений и даже получены кар-

Схема гравитационного линзирования.



ты распределения невидимой массы. На сегодняшний день это наиболее веское свидетельство существования тёмной материи в скоплениях галактик.

С 1990-х гг. стало возможным с высокой точностью измерять световые потоки одновременно от огромного количества (миллионов и десятков миллионов) звёзд. Наступил новый этап в применении гравитационных линз в астрономии. Речь идёт о явлении, получившем название *микролинзирование*.

Когда в качестве линзы выступает галактика или скопление галактик, свет проходит сквозь саму линзу. А если линза — компактное непрозрачное тело, например слабая звезда, или, еще лучше, нейтронная звезда? Можно показать, что чем компактнее тело при данной массе, тем сильнее будут отклоняться лучи света, проходящие вблизи его поверхности (чёрная дыра в этом смысле является наиболее сильной гравитационной линзой). Это означает, что при достаточно близком расположении такой линзы к лучу зрения изображение может сильно исказиться, а его блеск — возрасти.

Теперь представим себе, что мы наблюдаем небольшую область неба, усеянную миллионами звёзд, например Магеллановы Облака. Если бы между нами и Магеллановыми Облаками не было никаких тел, способных создавать эффект гравитационных микролинз, то, измеряя приходящее излучение от звёзд, мы получали бы информацию только об их собственной переменности.



Но предположим, что между нами и этими звёздами находится много не излучающих или слабо светящихся тел (например, старых холодных белых карликов, нейтронных звёзд, чёрных дыр или даже планет типа Юпитера). Если такое тёмное тело пролетит близко к лучу зрения, направленному на какую-нибудь из звёзд, то блеск её сначала резко увеличится, а затем опять уменьшится, причём абсолютно симметрично во времени.

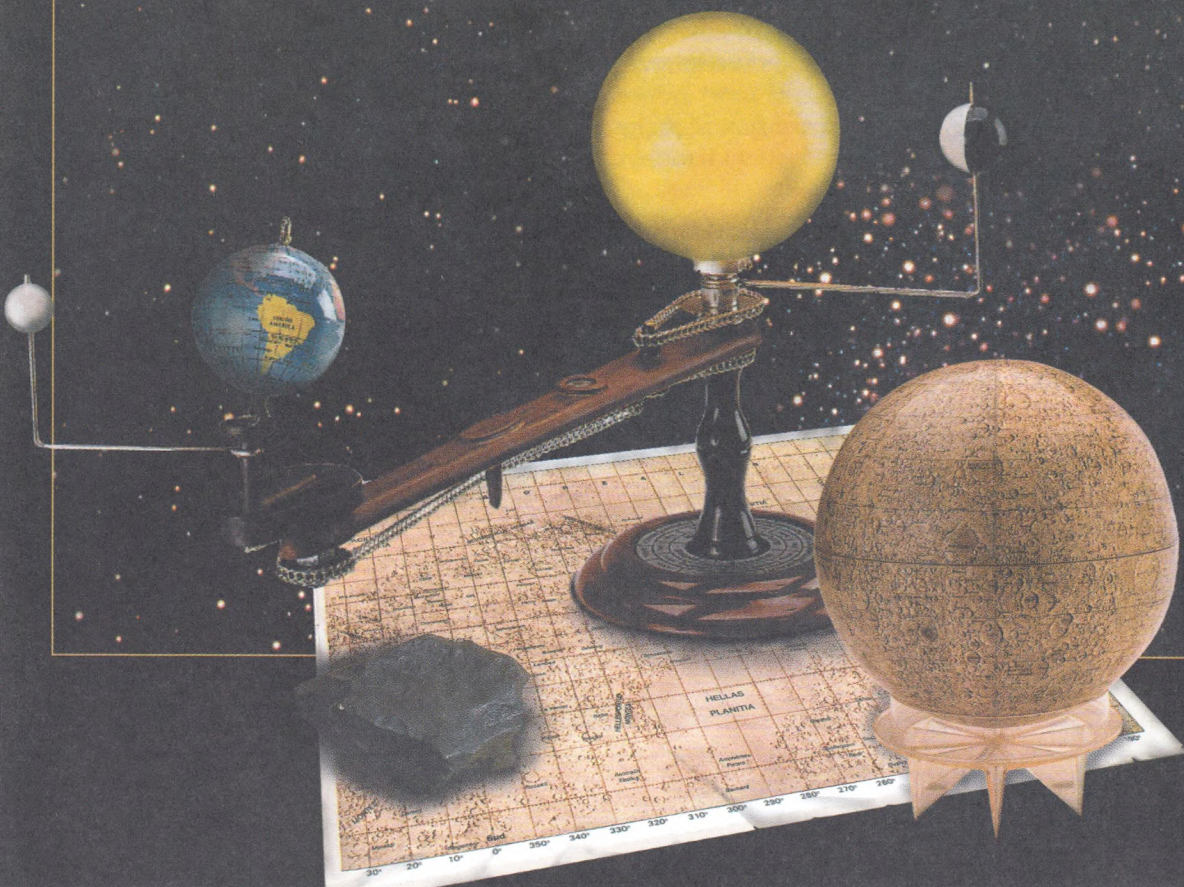
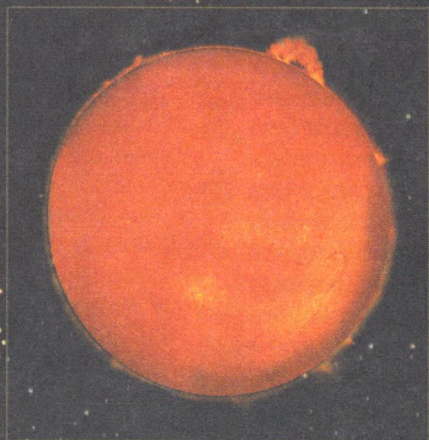
Эта идея была разработана в середине 1980-х гг. американским астрофизиком Б. Пачиньским. В качестве звёздного поля он предложил использовать Магеллановы Облака или уплотнение звёзд (балдж) вокруг центра

нашей Галактики. Вскоре было выявлено несколько случаев симметричного увеличения и ослабления блеска звёзд длительностью около месяца, которые по всем признакам являлись следствием микролинзирования при пролёте тёмных тел. Установлено, что эти тёмные тела имеют массу гораздо меньше солнечной. По-видимому, это холодные звёзды-карлики.

Итак, гравитационные линзы позволяют получать важную информацию о загадочной тёмной материи, измерять ключевые космологические параметры и наблюдать новые эффекты в движении небесных тел, которые невозможно исследовать традиционными астрономическими методами.



СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА







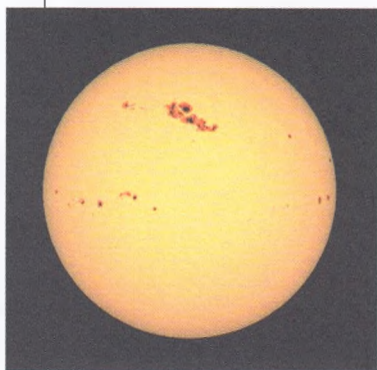
ЗВЕЗДА ПО ИМЕНИ СОЛНЦЕ

ЧТО ВИДНО НА СОЛНЦЕ

Каждому известно, что нельзя смотреть на Солнце невооружённым глазом, а тем более в телескоп без специальных, очень тёмных светофильтров или других устройств, ослабляющих свет. Пренебрегая этим запретом, наблюдатель рискует получить сильнейший ожог глаз. Самый простой

способ рассматривать Солнце — это спроецировать его изображение на белый экран. При помощи даже маленького любительского телескопа можно получить увеличенное изображение солнечного диска с множеством деталей. Что же видно на этом изображении?

Вид Солнца
в телескоп.



СОЛНЦЕ КАК ЗВЕЗДА

Диаметр	1 391 980 км
Масса	$1,989 \cdot 10^{30}$ кг
Сидерический период вращения точки на экваторе	25,380 суток
Светимость	$3,88 \cdot 10^{26}$ Вт
Видимая звёздная величина	$-26,58^m$
Спектральный класс	G2 V
Эффективная температура поверхности	5800 К
Возраст	около 5 млрд лет
Среднее расстояние от Земли до центра Солнца	149 597 870 км



Прежде всего обращает на себя внимание резкость солнечного края. Солнце — газовый шар, не имеющий чёткой границы, плотность его убывает постепенно. Почему же в таком случае мы видим его резко очерченным? Дело в том, что практически всё видимое излучение Солнца исходит из очень тонкого слоя, который называют *фотосферой* (греч. «сфера света»). Её толщина не превышает 200—300 км, что очень мало по сравнению с радиусом Солнца. Именно тонкость этого слоя и создаёт у наблюдателя иллюзию того, что Солнце имеет «поверхность». Слои выше фотосферы прозрачны для видимого света, а ниже наш взгляд просто не проникает.

ГРАНУЛЯЦИЯ

На первый взгляд диск Солнца кажется однородным. Однако если приглядеться, на нём обнаруживается много крупных и мелких деталей. Даже при не очень хорошем качестве изображения видно, что вся фотосфера состоит из светлых зёрен — *гранул* — и тёмных промежутков между ними. Размеры гранул невелики по солнечным масштабам, 1000—2000 км в поперечнике; тёмные межгранульные дорожки более узкие, примерно 300—600 км в ширину. На солнечном диске наблюдается одновременно около миллиона гранул.

Картина грануляции не является застывшей: одни гранулы исчезают, другие появляются. Каждая из них живёт не более 10 мин. Всё это напоминает кипение жидкости в кастрюле. Такое сравнение не случайно, поскольку физический процесс, ответственный за оба явления, один и тот же. Это конвекция — перенос тепла большими массами (пузырями) горячего вещества, которые поднимаются снизу, расширяясь и одновременно остывая. Специальные ис-

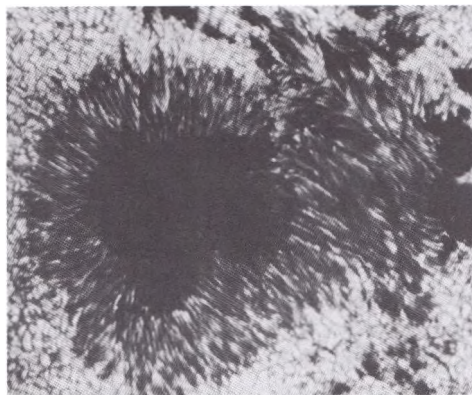
следования, основанные на эффекте Доплера, показывают, что горячий газ в гранулах поднимается с очень большой скоростью (до 7 км/с), а остывший опускается в межгранульных промежутках.

Грануляция создаёт общий фон, на котором можно наблюдать гораздо более контрастные и крупные объекты — солнечные пятна и факелы.

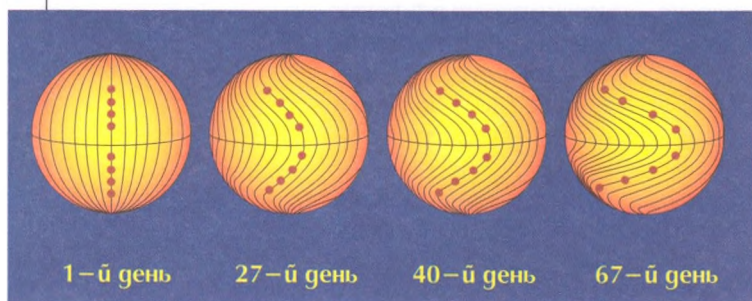
ПЯТНА

Солнечные пятна — это тёмные образования на диске Солнца. Их впервые изучили в телескоп в начале XVII в. европейские учёные Томас Хэрриот, Галилео Галилей, Иоханнес Фабрициус, Давид Фабрициус и Христоф Шейнер. Но значительно более ранние упоминания о пятнах встречаются в китайских хрониках, написанных до новой эры. Дело в том, что при некоторых специфических условиях пятна можно наблюдать даже невооружённым глазом, например когда атмосфера сильно задымлена при больших пожарах или через лёгкую дымку на закате и рассвете.

В телескоп видно, что крупные пятна имеют довольно сложное строение: тёмную область, называемую тенью, окружает полутень, диаметр которой в 2—3 раза превышает размер тени. Полутень имеет волокнистую структуру. Если пятно наблюдается на



Солнечное пятно. Средняя тёмная часть — тень. Она окружена полутенью.



▲ Вращение Солнца на разных широтах.

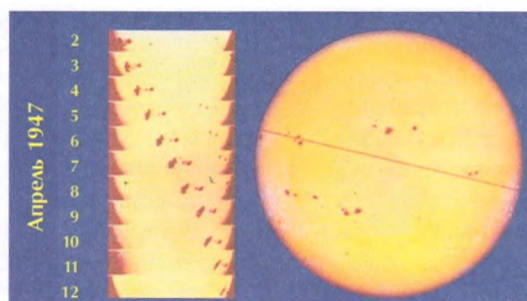
►► Перемещение пятен указывает на вращение Солнца.

краю солнечного диска, то создаётся впечатление, что оно похоже на губочную тарелку. Происходит это потому, что газ в пятнах прозрачнее, чем в окружающей атмосфере, и взгляд проникает глубже.

По величине пятна бывают очень разными — от малых, диаметром примерно 1000—2000 км, до гигантских, значительно превосходящих размеры нашей планеты. Отдельные пятна могут достигать в поперечнике 40 тыс. км. А самое большое из наблюдавшихся пятен достигало 100 тыс. км.

Установлено, что пятна — это места выхода в солнечную атмосферу сильного магнитного поля. Магнитное поле блокирует конвекцию, приносящую горячий газ из недр Солнца к фотосфере, поэтому там, где поле сильнее, температура падает. Пятна холоднее окружающего их вещества примерно на 1500 К, а следовательно, и менее ярки. Вот почему на общем фоне они выглядят тёмными. Температура тени пятен примерно 4300 К, а полутени — 5500 К (тогда как температура фотосферы 5800 К). Если бы мы рассматривали пятно отдельно, тогда оно было бы очень ярким, как и любое тело, нагретое до 5000 К.

Солнечные пятна часто образуют группы из нескольких больших и малых пятен, и такие группы могут занимать значительные, хорошо заметные области на солнечном диске. Картина группы всё время меняется, пятна рождаются, растут и распадаются. Живут группы пятен долго, иногда на



протяжении двух или трёх оборотов Солнца (период вращения Солнца составляет примерно 27 суток).

ФАКЕЛЫ

Практически всегда пятна окружены яркими ажурными полями, которые называют *факелами* или *факельными полями*. Особенно отчетливо они видны на краю солнечного диска и кажутся набором ярких волокон, образующих ячейки размером около 30 тыс. км. Чем лучше разрешение телескопа, тем на всё более мелкие детали распадаются факельные волокна. По-видимому, в пределах они состоят из ярких зёрен размером около 100 км, лежащих между обычными гранулами.

Факельные поля живут дольше, чем пятна, иногда три-четыре месяца. Они не обязательно существуют вместе с пятнами: очень часто встречаются факельные поля, внутри которых пятна никогда не появляются. Обычно появление факельных полей предшествует появлению пятен, и также они остаются жить после исчезновения последних. По-видимому, факелы тоже являются местами выхода магнитного поля в наружные слои Солнца, но это поле слабее, чем в пятнах, поэтому оно не ослабляет поток энергии, как в пятнах, а, напротив, усиливает его.

Пятна и факелы вместе образуют *активные области*. Именно в активных областях происходят солнечные



вспышки, и над ними в верхних слоях солнечной атмосферы висят протуберанцы. Все сложные процессы, происходящие в активных областях, связаны с изменчивостью магнитного поля, их породившего.

Количество активных областей характеризует солнечную активность, максимумы которой повторяются

примерно через каждые 11 лет. В годы минимума активности на Солнце долго может не быть ни одного пятна, а в максимуме их число обычно измеряется десятками. Ближайший максимум солнечной активности, когда можно будет наблюдать много пятен и факелов, ожидается около 2013—2014 гг.

СОЛНЕЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Основным инструментом астронома-наблюдателя является телескоп. И хотя принцип действия всех телескопов общий, для каждой области астрономии разработаны свои модификации этого прибора.

Яркость Солнца велика, и светосила оптической системы солнечного телескопа может быть небольшой. Гораздо интереснее получить как можно больший масштаб изображения. Поэтому у солнечных телескопов очень большие фокусные расстояния. Крупнейший инструмент с зеркалом 1,6 м находится в обсерватории Китт Пик, имеет фокусное расстояние 82,6 м и даёт изображение Солнца диаметром 82 см.

Солнце движется по небосводу лишь в ограниченной его области, внутри полосы шириной около 47° . Поэтому солнечному телескопу не нужна монтировка для наведения в любую точку неба. Его устанавливают неподвижно, а солнечные лучи направляются подвижной системой зеркал — *целостатом*.

Бывают горизонтальные и вертикальные (башенные) солнечные телескопы. Горизонтальный телескоп построить легче, так как все его детали находятся на горизонтальной оси. Но у него есть один существенный недостаток. Солнце даёт много тепла, и воздух внутри телескопа сильно нагревается. Нагретый воздух движется

вверх, более холодный — вниз. Эти встречные потоки делают изображение дрожащим и нерезким. Поэтому крупные солнечные телескопы имеют вертикальную конструкцию. В них потоки воздуха движутся почти параллельно лучам света и меньше портят изображение.

Важным параметром телескопа является угловое разрешение, т. е. способность давать отдельные изображения двух близких друг к другу деталей. Например, разрешение в 1 угловую секунду ($1''$) означает, что можно различить два объекта, угол между которыми равен $1''$ дуги. Видимый радиус Солнца составляет чуть меньше $1000''$, а истинный — около 700 тыс. км. Следовательно, $1''$ на Солнце соответствует расстоянию немногим более 700 км. Лучшие фотографии Солнца позволяют увидеть детали размером около 100 км.

Обычные солнечные телескопы предназначены в основном для наблюдения фотосферы. Чтобы наблюдать самые внешние и сильно разреженные слои солнечной атмосферы — солнечную корону, пользуются специальным инструментом — *короннографом*. Изобрёл его французский астроном Бернар Лио в 1930 г.

В обычных условиях солнечную корону увидеть нельзя, так как свет от неё в 10 тыс. раз слабее света дневного неба вблизи Солнца. Можно вос-



Солнечная обсерватория на Большом Медвежьем озере в Калифорнии (США).



пользоваться моментами полных солнечных затмений, когда диск Солнца закрыт Луной. Но затмения бывают редко, видны в узкой полосе, а продолжительность полной фазы затмения не превышает 7 мин. Коронаграф же позволяет наблюдать корону вне затмения.

Чтобы удалить свет от солнечного диска, в фокусе объектива коронаграфа установлена искусственная «луна». Она представляет собой маленький конус с зеркальной поверхностью. Размер его чуть больше диаметра

изображения Солнца, а вершина направлена к объективу. Свет отбрасывается конусом обратно в трубу телескопа или в особую световую «ловушку». А изображение солнечной короны строит дополнительная линза, которая находится за конусом.

Коронаграфы обычно устанавливают высоко в горах, где воздух прозрачнее и небо темнее. Но и там солнечная корона всё же слабее, чем ореол неба вокруг Солнца. Поэтому её можно наблюдать только в узком диапазоне спектра, в спектральных линиях излучения короны. Для этого используют специальный фильтр или спектрограф.

Спектрограф — самый важный вспомогательный прибор для астрофизических исследований. Многие солнечные телескопы служат лишь для того, чтобы направлять пучок солнечного света в спектрограф. Основными его элементами являются: щель для ограничения поступающего света; коллиматор (линза или зеркало), который делает параллельным пучок лучей; дифракционная решётка для разложения белого света в спектр и фотокамера или иной детектор изображения.

«Сердце» спектрографа — дифракционная решётка, которая представляет собой зеркальную стеклянную пластинку с нанесёнными на неё параллельными штрихами. Число штрихов у лучших решёток достигает 1200 на миллиметр.

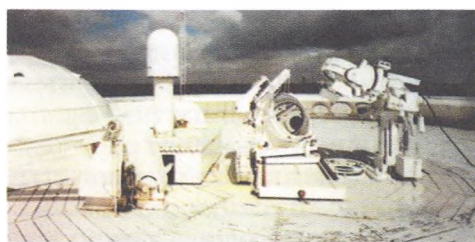
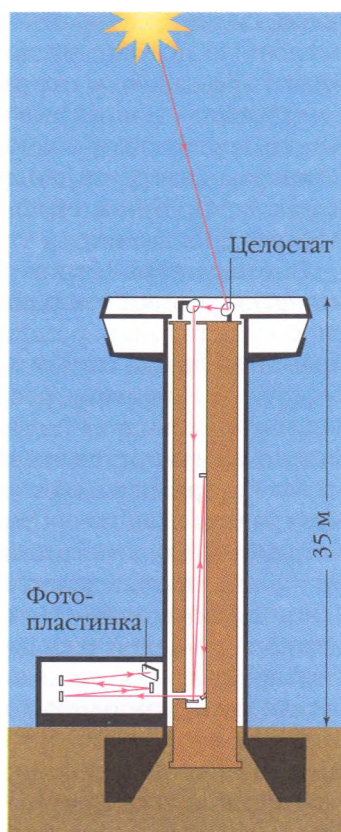
Основная характеристика спектрографа — его спектральное разрешение. Чем выше разрешение, тем более близкие спектральные линии можно увидеть раздельно. Дифракционная решётка даёт много спектров, видимых под разными углами. Говорят, что она имеет много порядков спектра. Самый яркий порядок спектра — первый. Чем дальше порядок, тем спектр слабее, но его разрешение выше. Далёкие порядки спектра накладываются друг на друга. Поскольку



▲ Башенный солнечный телескоп Медонской обсерватории (Франция).

► Схема хода лучей.

Устройство целостата.





требуются и высокое разрешение, и яркий спектр, для наблюдений обычно используют второй-третий порядки спектра.

Одной из наиболее интересных систем является *эшелъный спектрограф*. В нём кроме специальной решётки, называемой эшелёю, стоит стеклянная призма. Лучи света падают на эшелё под очень острым углом. При этом многие порядки спектра накладываются друг на друга. Их разделяют при помощи призмы, которая преломляет свет перпендикулярно штрихам решётки. В результате получается спектр, порезанный на кусочки. Длину щели эшелёного спектрографа делают очень маленькой — несколько миллиметров, и поэтому спектры получаются узкими.

Эшелёный спектр представляет собой набор полосок, расположенных одна под другой и разделённых тёмными промежутками. Использование высоких порядков спектра в эшелё-



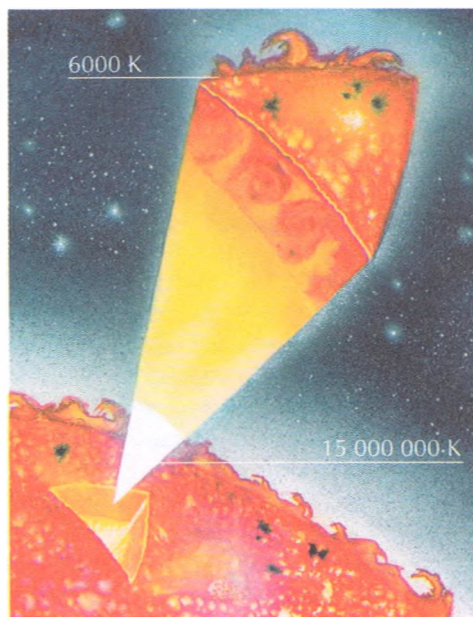
Башенный солнечный телескоп Крымской астрофизической обсерватории.

ном спектрографе даёт выигрыш в разрешающей силе, что очень важно при изучении тонкой структуры спектральных линий.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ СОЛНЦА

Наше Солнце — это огромный светящийся газовый шар, внутри которого протекают сложные процессы и в результате непрерывно выделяется энергия. Внутренний объём Солнца можно разделить на несколько областей; вещество в них отличается по своим свойствам, и энергия распространяется посредством разных физических механизмов. Познакомимся с ними, начиная с самого центра.

В центральной части Солнца находится источник его энергии, или, говоря образным языком, та «печка», которая нагревает его и не даёт ему остыть. Эта область называется ядром. Под тяжестью внешних слоёв вещество внутри Солнца сжато, причём чем глубже, тем сильнее. Плотность



Температура на поверхности и внутри Солнца.



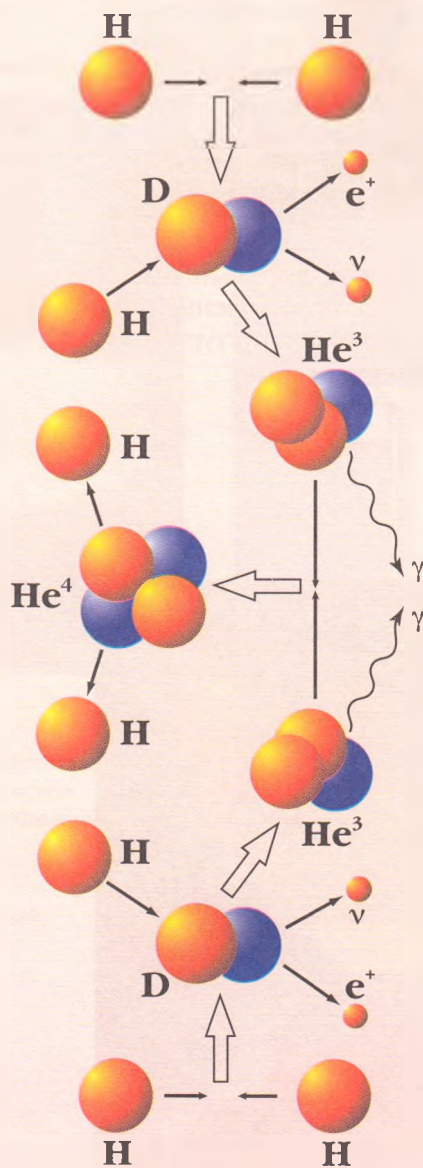
его увеличивается к центру вместе с ростом давления и температуры. В ядре, где температура достигает 15 млн кельвинов, происходит выделение энергии.

Эта энергия выделяется в результате слияния атомов лёгких химических элементов в атомы более тяжёлых. В недрах Солнца из четырёх атомов водорода образуется один атом гелия. Именно эту страшную

энергию люди научились освобождать при взрыве водородной бомбы. Есть надежда, что в недалёком будущем человек сможет научиться использовать её и в мирных целях.

Ядро имеет радиус не более четверти общего радиуса Солнца. Однако в его объёме сосредоточена половина солнечной массы и выделяется практически вся энергия, которая поддерживает свечение Солнца.

Протон-протонная ядерная реакция.



Большой красный шарик — протон, синий шарик — нейтрон, H — ядро водорода, D — ядро дейтерия, He³, He⁴ — ядра изотопов гелия, e⁺ — позитрон, ν — нейтрино, γ — квант излучения.

ОТКУДА БЕРЁТСЯ ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА?

Почему Солнце светит и не остывает уже миллиарды лет? Какое «топливо» даёт ему энергию? Ответы на эти вопросы учёные искали веками, и только в начале XX в. было найдено правильное решение. Теперь известно, что Солнце, как и другие звёзды, светит благодаря протекающим в его недрах термоядерным реакциям. Что же это за реакции?

Если ядра атомов лёгких элементов сольются в ядро атома более тяжёлого элемента, то масса нового ядра окажется меньше, чем суммарная масса тех ядер, из которых оно образовалось. Остаток массы превращается в энергию, которую уносят частицы, освободившиеся в ходе реакции. Эта энергия почти полностью переходит в тепло. Такая реакция синтеза атомных ядер может происходить только при очень высоком давлении и температуре свыше 10 млн градусов. Поэтому она и называется термоядерной.

Основное вещество, составляющее Солнце, — водород, на его долю приходится около 71 % всей массы светила. Почти 27 % принадлежит гелию, а остальные 2 % — более тяжёлым элементам, таким, как углерод, азот, кислород и металлы. Главным «топливом» на Солнце служит именно водород. Из четырёх атомов водорода в результате цепочки превращений образуется один атом гелия. А из каждого грамма водорода, участвующего в реакции, выделяется $6 \cdot 10^{11}$ Дж энергии! На Земле такого количества энергии хватило бы для того, чтобы нагреть от температуры 0 °C до точки кипения 1000 м³ воды!

Рассмотрим механизм термоядерной реакции превращения водорода в гелий, которая, по-видимому, наиболее важна для большинства звёзд. Называется она протон-протонной, так как начинается с тесного сближения двух ядер атома водорода — протонов.



Но энергия горячего ядра должна как-то выходить наружу, к поверхности Солнца. Существуют различные способы передачи энергии в зависимости от физических условий среды, а именно: лучистый перенос, конвекция и теплопроводность. Теплопроводность не играет большой роли в энергетических процессах на Солнце и звёздах, тогда как лучистый и конвективный переносы очень важны.

Сразу вокруг ядра начинается *зона лучистого переноса энергии*, где она распространяется через поглощение и излучение веществом порций света — квантов.

Плотность, температура и давление уменьшаются по мере удаления от ядра, и в этом же направлении идёт поток энергии. В целом процесс этот крайне медленный. Чтобы квантам добраться от центра Солнца до

Протоны заряжены положительно, поэтому взаимно отталкиваются, причём, по закону Кулона, сила этого отталкивания обратно пропорциональна квадрату расстояния и при тесных сближениях должна стремительно возрасть. Однако при очень высоких температуре и давлении скорости теплового движения частиц столь велики, а частицам так тесно, что наиболее быстрые из них всё же сближаются друг с другом и оказываются в сфере влияния ядерных сил. В результате может произойти цепочка превращений, которая завершится возникновением нового ядра, состоящего из двух протонов и двух нейтронов, — ядра гелия. (Следует отметить, что температура в центре Солнца недостаточна для преодоления кулоновского барьера — сил отталкивания двух одинаково заряженных частиц. Однако, согласно квантовой механике, частицы обладают волновыми свойствами, что позволяет им просочиться через кулоновский барьер, и, таким образом, реакции слияния могут начаться при меньших температурах, чем предсказывает классическая теория. Это явление получило название *туннельного эффекта*. Наше Солнце и подобные ему звёзды светят именно благодаря существованию туннельного эффекта.)

Далеко не каждое столкновение двух протонов приводит к ядерной реакции. В течение миллиардов лет протон может постоянно сталкиваться с другими протонами, так и не дождавшись ядерного превращения. Но если в момент тесного сближения двух протонов произойдёт ещё и другое маловероятное для ядра событие — распад протона на нейтрон, позитрон и нейтрино (такой процесс называется бета-распадом), то протон с нейтроном объединятся в устойчивое ядро атома тяжёлого водорода — дейтерия.

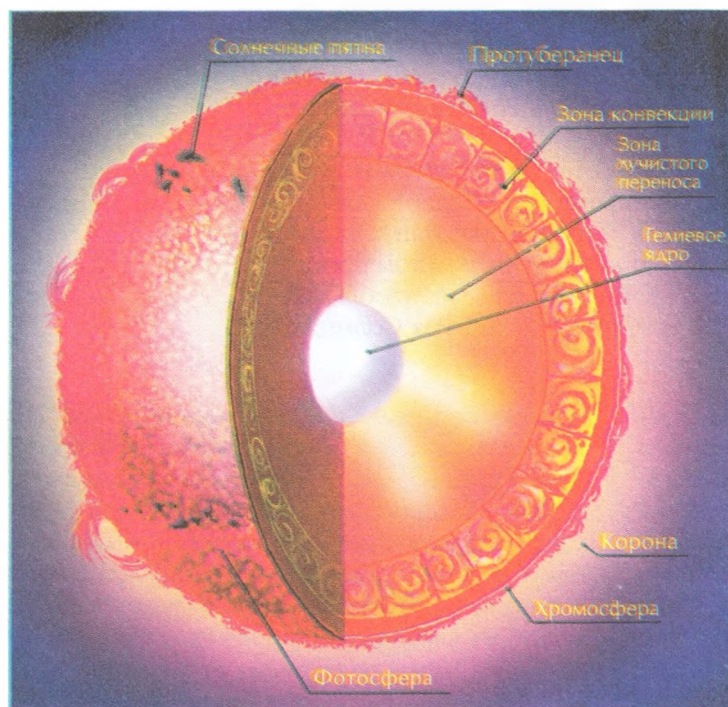
Ядро дейтерия (дейтон) по своим свойствам похоже на ядро водорода, только тяжелее. Но в отличие от последнего в недрах звезды ядро дейтерия долго

существовать не может. Уже через несколько секунд, столкнувшись с ещё одним протоном, оно присоединяет его к себе, испускает мощный гамма-квант и становится ядром изотопа гелия, у которого два протона связаны не с двумя нейтронами, как у обычного гелия, а только с одним. Раз в несколько миллионов лет такие ядра лёгкого гелия сближаются настолько тесно, что могут объединиться в ядро обычного гелия, «отпустив на свободу» два протона.

Итак, в итоге последовательных ядерных превращений образуется ядро обычного гелия. Порождённые в ходе реакции позитроны и гамма-кванты передают энергию окружающему газу, а нейтрино совсем уходят из звезды, потому что обладают удивительной способностью проникать через огромные толщи вещества, не задев ни одного атома.

* * *

Реакция превращения водорода в гелий ответственна за то, что внутри Солнца сейчас гораздо больше гелия, чем на его поверхности. Естественно, возникает вопрос: что же будет с Солнцем, когда весь водород в его ядре выгорит и превратится в гелий, и как скоро это произойдёт? Оказывается, примерно через 5 млрд лет содержание водорода в ядре Солнца настолько уменьшится, что его «горение» начнётся в слое вокруг ядра. Это приведёт к «раздуванию» солнечной атмосферы, увеличению размеров Солнца, падению температуры на поверхности и повышению её в ядре. Постепенно Солнце превратится в красный гигант — сравнительно холодную звезду огромного размера с атмосферой, превосходящей границы орбиты Земли. Жизнь Солнца на этом не закончится, и оно будет претерпевать ещё много изменений, пока в конце концов не станет холодным и плотным газовым шаром, внутри которого уже не происходит никаких термоядерных реакций.



Внутреннее строение Солнца.

фотосферы, необходимы многие тысячи лет: ведь, переизлучаясь, кванты всё время меняют направление, почти столь же часто двигаясь назад, как и вперёд. Но когда они в конце концов выберутся наружу, это будут уже совсем другие кванты. Что же с ними произошло?

В центре Солнца рождаются гамма-кванты. Их энергия в миллионы раз больше, чем энергия квантов видимого света, а длина волны очень мала. По дороге кванты претерпевают удивительные превращения. Отдельный квант сначала поглощается каким-нибудь атомом, но тут же снова переизлучается; чаще всего при этом возникает не один прежний квант, а два или даже несколько. По закону сохранения энергии их общая энергия сохраняется, а потому энергия каждого из них уменьшается. Так возникают кванты всё меньших и меньших энергий.

Мощные гамма-кванты как бы дробятся на менее энергичные кванты — сначала рентгеновских, потом

ультрафиолетовых и наконец видимых и инфракрасных лучей. В итоге наибольшее количество энергии Солнце излучает в видимом свете, и не случайно наши глаза чувствительны именно к нему.

Как мы уже говорили, кванту требуется очень много времени, чтобы просочиться через плотное солнечное вещество наружу. Так что если бы «печка» внутри Солнца вдруг погасла, то мы узнали бы об этом только миллионы лет спустя.

На своём пути через внутренние солнечные слои поток энергии встречает такую область, где непрозрачность газа сильно возрастает. Это *конвективная зона* Солнца. Здесь энергия передаётся уже не излучением, а конвекцией.

Что такое конвекция? Когда жидкость кипит, она перемешивается. Так же может вести себя и газ. В жаркий день, когда земля нагрета лучами Солнца, на фоне удалённых предметов хорошо заметны поднимающиеся струйки горячего воздуха. Их легко наблюдать и над пламенем газовой горелки, и над раскалённой конфоркой плиты. То же самое происходит и на Солнце в области конвекции. Огромные потоки горячего газа поднимаются вверх, где отдают своё тепло окружающей среде, а охлаждённый солнечный газ опускается вниз. Похоже, что солнечное вещество кипит и перемешивается, как вязкая рисовая каша на огне.

Конвективная зона начинается примерно на расстоянии 0,7 радиуса от центра и простирается практически до самой видимой поверхности Солнца (фотосферы), где перенос основного потока энергии вновь становится лучистым. Однако по инерции сюда всё же проникают горячие потоки из более глубоких, конвективных слоёв. Хорошо известная наблюдателям картина грануляции на поверхности Солнца является видимым проявлением конвекции.



СОЛНЕЧНАЯ АТМОСФЕРА

Земная атмосфера — это воздух, которым мы дышим, привычная нам газовая оболочка Земли. Такие оболочки есть и у других планет. Звёзды целиком состоят из газа, но их внешние слои также именуют атмосферой. При этом внешними считаются те слои, откуда хотя бы часть излучения может беспрепятственно, не поглощаясь вышележащими слоями, уйти в окружающее пространство.

ФОТОСФЕРА

Атмосфера Солнца начинается на 200—300 км глубже видимого края солнечного диска. Эти самые глубокие слои атмосферы называют *фотосферой*. Поскольку их толщина составляет не более одной трёхтысячной доли солнечного радиуса, фотосферу иногда условно называют поверхностью Солнца.

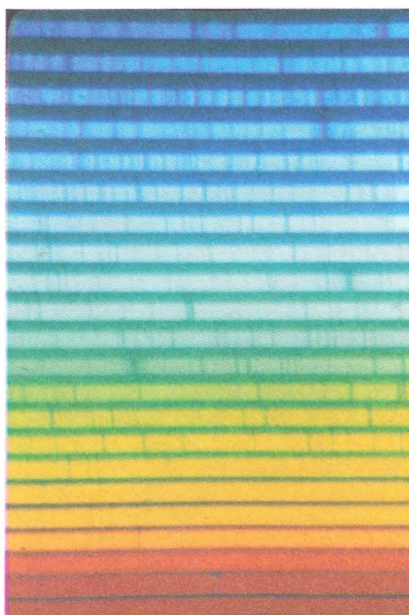
Плотность газов в фотосфере примерно такая же, как в земной стратосфере, и в сотни раз меньше, чем у поверхности Земли. Температура фотосферы уменьшается от 8000 К на глубине 300 км до 4000 К в самых верхних слоях. Температура среднего слоя, излучение которого мы воспринимаем, около 6000 К.

При таких условиях почти все молекулы газа распадаются на отдельные атомы. Лишь в самых верхних слоях фотосферы сохраняется относительно немного простейших молекул и радикалов типа H_2 , OH , CH .

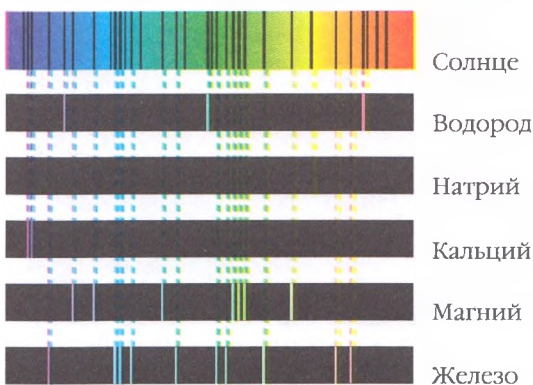
Особую роль в солнечной атмосфере играет не встречающийся в земной природе отрицательный ион водорода, который представляет собой протон с двумя электронами. Это необычное соединение возникает в тонком внешнем, наиболее «холодном» слое фотосферы при «налипании» на нейтральные атомы

водорода отрицательно заряженных свободных электронов, которые поставляются легко ионизируемыми атомами кальция, натрия, магния, железа и других металлов. При возникновении отрицательные ионы водорода излучают большую часть видимого света. Этот же свет ионы жадно поглощают, из-за чего непрозрачность атмосферы с глубиной быстро растёт. Поэтому видимый край Солнца и кажется нам очень резким.

Почти все наши знания о Солнце основаны на изучении его спектра —



Спектр видимого излучения Солнца. Вверху — последовательные участки спектра (разрезан на участки для удобства). Внизу — общий вид спектра, на котором показаны положения линий атомов некоторых химических элементов.

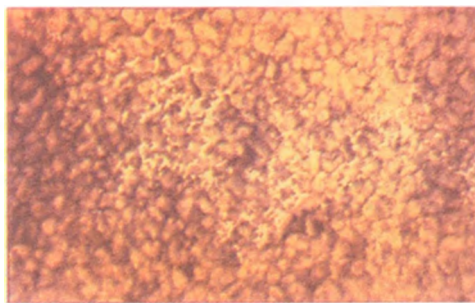




узенькой разноцветной полоски, имеющей ту же природу, что и радуга. Впервые, поставив призму на пути солнечного луча, такую полоску получил Ньютон и воскликнул: «Спектрум!» (*лат.* spectrum — «видение»). Позже в спектре Солнца заметили тёмные линии и сочли их границами цветов. В 1815 г. немецкий оптик Йозеф Фраунгофер дал первое подробное описание таких линий в солнечном спектре, и их стали называть его именем. Оказалось, что *фраунгоферовы линии* соответствуют узким участкам спектра, которые сильно поглощаются атомами различных веществ (см. статью «Анализ видимого света»).

Наблюдая Солнце в телескоп с большим увеличением, можно увидеть тонкие детали фотосферы: вся она кажется усыпанной мелкими яркими зёрнышками — гранулами, разделёнными сетью узких тёмных дорожек.

Солнечная
грануляция.



Пятна на Солнце.

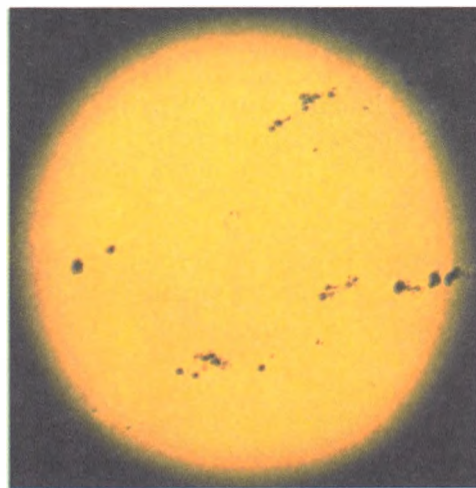


Грануляция является результатом перемешивания всплывающих более тёплых потоков газа и опускающихся более холодных. Разность температур между ними в наружных слоях сравнительно невелика (200—300 К), но глубже, в конвективной зоне, она больше, и перемешивание происходит значительно интенсивнее. Конвекция во внешних слоях Солнца играет огромную роль, определяя общую структуру атмосферы. В конечном счёте именно конвекция в результате сложного взаимодействия с солнечным магнитным полем служит

причиной всех многообразных проявлений солнечной активности.

Магнитное поле участвует во всех процессах на Солнце. Временами в небольшой области солнечной атмосферы возникает концентрированное магнитное поле, в несколько тысяч раз более сильное, чем у поверхности Земли. Ионизованная плазма — хороший проводник, она не может перемещаться поперёк линий магнитной индукции сильного магнитного поля. Поэтому в таких местах перемешивание и подъём горячих газов снизу тормозятся, и возникает тёмная область — солнечное пятно. На фоне ослепительной фотосферы оно кажется совсем чёрным, хотя в действительности яркость его слабее только раз в десять.

С течением времени (мелкие пятна существуют менее суток, развитые приблизительно 10—20 суток, самые большие могут наблюдаться до 100 суток) величина и форма пятен сильно меняются. Возникнув в виде едва заметной точки — поры, пятно постепенно увеличивает свои размеры до нескольких десятков тысяч километров. Крупные пятна, как правило, состоят из тёмной части (ядра) и менее тёмной — полутени, структура которой придаёт пятну вид вихря. Пятна бывают окружены более





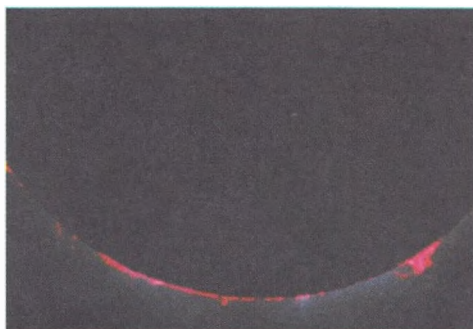
яркими участками фотосферы, называемыми факелами или факельными полями. Фотосфера постепенно переходит в более разреженные внешние слои солнечной атмосферы — хромосферу и корону.

ХРОМОСФЕРА

Хромосфера (греч. «сфера цвета») названа так за свою красновато-фиолетовую окраску. Она видна во время полных солнечных затмений как клочковатое яркое кольцо вокруг чёрного диска Луны, только что затмившего Солнце. Хромосфера весьма неоднородна и состоит в основном из продолговатых вытянутых язычков (спикул), придающих ей вид горящей травы. Температура этих хромосферных струй в два-три раза выше, чем в фотосфере, а плотность в сотни тысяч раз меньше. Общая протяжённость хромосферы 10—15 тыс. км.

Рост температуры в хромосфере объясняется распространением волн и магнитных полей, проникающих в неё из конвективной зоны. Вещество нагревается примерно так же, как если бы это происходило в гигантской микроволновой печи. Скорости тепловых движений частиц возрастают, учащаются столкновения между ними, и атомы теряют свои внешние электроны: вещество становится горячей ионизованной плазмой. Эти же физические процессы поддерживают и необычайно высокую температуру самых внешних слоёв солнечной атмосферы, которые расположены выше хромосферы.

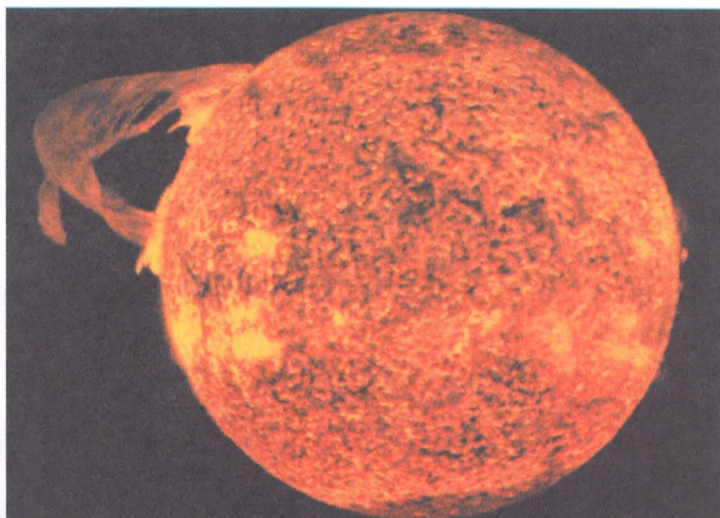
Часто во время затмений (а при помощи специальных спектральных приборов — и не дожидаясь затмений) над поверхностью Солнца можно наблюдать причудливой формы «фонтаны», «облака», «воронки», «кусты», «арки» и прочие ярко светящиеся образования из хромосферного



Хромосфера Солнца, наблюдаемая во время полного солнечного затмения.

вещества. Они бывают неподвижными или медленно изменяющимися, окружёнными плавными изогнутыми струями, которые втекают в хромосферу или вытекают из неё, поднимаясь на десятки и сотни тысяч километров. Это самые грандиозные образования солнечной атмосферы — *протуберанцы*. При наблюдении в красной спектральной линии,

Солнечные протуберанцы.



Протуберанец в ультрафиолетовых лучах.



излучаемой атомами водорода, они кажутся на фоне солнечного диска тёмными, длинными и изогнутыми волокнами.

Протуберанцы имеют примерно ту же плотность и температуру, что и хромосфера. Но они находятся над ней и окружены более высокими, сильно разреженными верхними слоями солнечной атмосферы. Протуберанцы не падают в хромосферу потому, что их вещество поддерживается магнитными полями активных областей Солнца.

Впервые спектр протуберанца вне затмения наблюдали французский астроном Пьер Жансен и его английский коллега Джозеф Локьер в 1868 г. Щель спектроскопа располагают так, чтобы она пересекала край Солнца, и если вблизи него находится протуберанец, то можно заметить спектр его излучения. Направляя щель на различные участки протуберанца или хромосферы, можно изучить их по частям. Спектр протуберанцев, как и хромосферы, состоит из ярких линий, главным образом водорода, гелия и кальция. Линии излучения других химических элементов тоже присутствуют, но они намного слабее.

Некоторые протуберанцы, пробыв долгое время без заметных изменений, внезапно как бы взрываются, и вещество их со скоростью сотни километров в секунду выбрасывается в межпланетное пространство. Вид хромосферы также часто меняется, что указывает на непрерывное движение составляющих её газов.

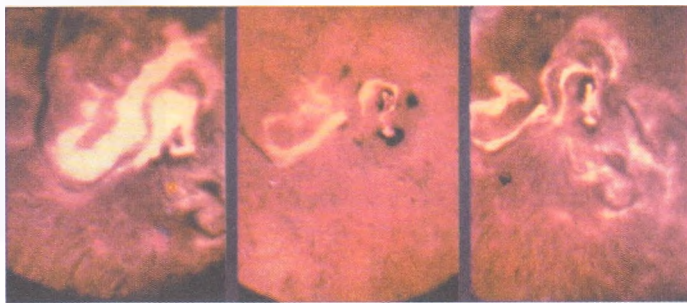
Иногда нечто похожее на взрывы происходит в очень небольших по размеру областях атмосферы Солнца. Это так называемые *хромосферные вспышки*. Они длятся обычно несколько десятков минут. Во время вспышек в спектральных линиях водорода, гелия, ионизованного кальция и некоторых других элементов свечение отдельного участка хромосферы внезапно увеличивается в десятки раз. Особенно сильно возрастает ультрафиолетовое и рентгеновское излучение: порой его мощность в несколько раз превышает общую мощность излучения Солнца в этой коротковолновой области спектра до вспышки.

Пятна, факелы, протуберанцы, хромосферные вспышки — всё это проявления солнечной активности. С повышением активности число этих образований на Солнце становится больше.



Солнце в рентгеновских лучах. Наиболее яркие места — районы проявления солнечной активности.

Хромосферная вспышка на Солнце (последовательно сделанные снимки).





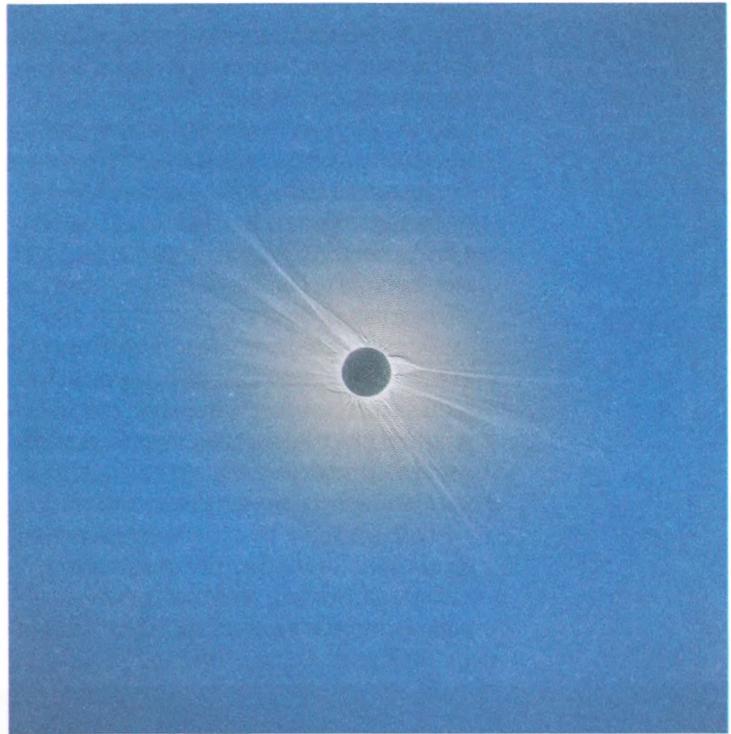
КОРОНА

В отличие от фотосферы и хромосферы самая внешняя часть атмосферы Солнца — *корона* обладает огромной протяжённостью: она простирается на миллионы километров, что соответствует нескольким солнечным радиусам, а её слабое продолжение уходит ещё дальше.

Плотность вещества в солнечной короне убывает с высотой значительно медленнее, чем плотность воздуха в земной атмосфере. Уменьшение плотности воздуха при подъёме вверх определяется притяжением Земли. На поверхности Солнца сила тяжести значительно больше, и, казалось бы, его атмосфера не должна быть высокой. В действительности она необычайно обширна. Следовательно, имеются какие-то силы, действующие против притяжения Солнца. Эти силы связаны с огромными скоростями движения атомов и электронов в короне, разогретой до температуры 1—2 млн градусов!

Корону лучше всего наблюдать во время полной фазы солнечного затмения. Правда, за те несколько минут, что она длится, очень трудно зарисовать не только отдельные детали, но даже общий вид короны. Глаз наблюдателя едва лишь начинает привыкать к внезапно наступившим сумеркам, а появившийся из-за края Луны яркий луч Солнца уже возвещает о конце затмения. Поэтому часто зарисовки короны, выполненные опытными наблюдателями во время одного и того же затмения, сильно различались. Не удавалось даже точно определить её цвет.

Изобретение фотографии дало астрономам объективный и документальный метод исследования. Однако получить хороший снимок короны тоже нелегко. Дело в том, что ближайшая к Солнцу её часть, так называемая внутренняя корона, сравнительно яркая, в то время как



Лучи солнечной короны — это потоки заряженных частиц, движущихся вдоль силовых линий магнитного поля Солнца. Это и есть солнечный ветер, который представляет собой внешнюю атмосферу Солнца. Таким образом, снимки короны позволяют увидеть структуру магнитного поля и атмосферу ближайшей к нам звезды. Во время полного солнечного затмения небо тёмно-синее. Там, где лучи короны слабеют и почти сливаются с фоном неба, видны звёзды. 29 марта 2006 г. Солнце находилось в созвездии Рыбы.

далеко простирающаяся внешняя корона представляется очень бледным сиянием. Поэтому если на фотографиях хорошо видна внешняя корона, то внутренняя оказывается передержанной, а на снимках, где просматриваются детали внутренней короны, внешняя совершенно незаметна. Чтобы преодолеть эту трудность, во время затмения обычно стараются получить сразу несколько снимков короны — с большими и маленькими выдержками. Или же корону фотографируют, помещая перед фотопластиной специальный «радиальный» фильтр, ослабляющий кольцевые зо-



ны ярких внутренних частей короны. На таких снимках её структуру можно проследить до расстояний во много солнечных радиусов.

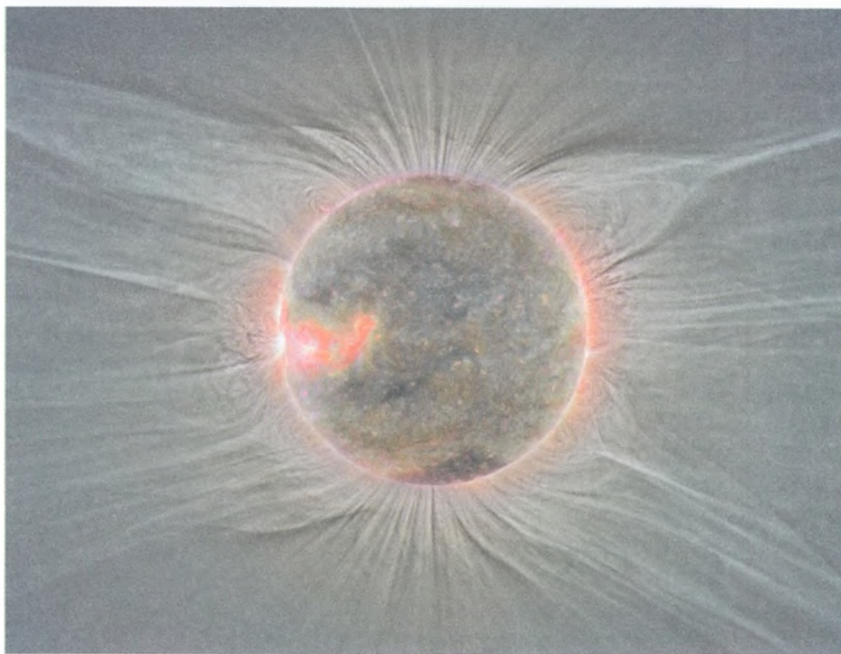
Уже первые удачные фотографии позволили обнаружить в короне большое количество деталей: корональные лучи, всевозможные «дуги», «шлемы» и другие сложные образования, чётко связанные с активными областями.

Главной особенностью короны является лучистая структура. Корональные лучи имеют самую разнообразную форму: иногда они короткие, иногда длинные, бывают лучи прямые, а иногда они сильно изогнуты.

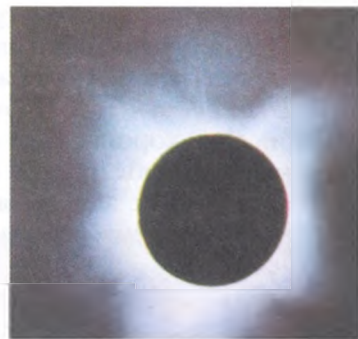
Ещё в 1897 г. пулковский астроном Алексей Павлович Ганский обнаружил, что общий вид солнечной короны периодически меняется. Ока-

залось, что это связано с 11-летним циклом солнечной активности.

С 11-летним периодом меняется как общая яркость, так и форма солнечной короны. В эпоху максимума солнечных пятен она имеет сравнительно округлую форму. Прямые и направленные вдоль радиуса Солнца лучи короны наблюдаются как у солнечного экватора, так и в полярных областях. Когда же пятен мало, корональные лучи образуются лишь в экваториальных и средних широтах. Форма короны становится вытянутой. У полюсов появляются характерные короткие лучи, так называемые полярные щёточки. При этом общая яркость короны уменьшается. Эта интересная особенность короны, по-видимому, связана с постепенным перемещением в течение 11-летне-



Солнце во время полного затмения 29 марта 2006 г. Изображение короны получено с поверхности Земли, а изображение диска — с орбитальной обсерватории SOHO. Объединение наземных снимков в видимом участке спектра и ультрафиолетовых космических снимков сделано для того, чтобы одновременно увидеть и лучи короны, и порождающие их активные области на диске Солнца. Снимки спутника SOHO были сделаны примерно за 15 мин до съёмки затмения с Земли.



Вид короны в зависимости от активности Солнца. Вытянутая корона соответствует спокойному Солнцу (минимум активности).



го цикла зоны преимущественного образования пятен. После минимума пятна начинают возникать по обе стороны от экватора на широтах $30-40^\circ$. Затем зона пятнообразования постепенно опускается к экватору.

Тщательные исследования позволили установить, что между структурой короны и отдельными образованиями в атмосфере Солнца существует определённая связь. Например, над пятнами и факелами обычно наблюдаются яркие и прямые корональные лучи. В их сторону изгибаются соседние лучи. В основании корональных лучей яркость хромосферы увеличивается. Такую её область называют обычно возбуждённой. Она горячее и плотнее соседних, невозбуждённых областей. Над пятнами в короне наблюдаются яркие сложные образования. Протуберанцы также часто бывают окружены оболочками из корональной материи.

Корона оказалась уникальной естественной лабораторией, в которой можно наблюдать вещество в самых необычных и недостижимых на Земле условиях.

Главная причина особенностей короны — высокая температура сильно разреженного газа. При температуре свыше 1 млн градусов средние скорости атомов водорода превышают 100 км/с, а у свободных электронов они ещё раз в 40 больше. При таких скоростях, несмотря на сильную разреженность вещества (всего 100 млн частиц в 1 см^3 , что в 100 млрд раз разреженнее воздуха на Земле!), сравнительно часты столкновения атомов, особенно с электронами. Силы электронных ударов так велики, что атомы лёгких элементов практически полностью лишаются всех своих электронов и от них остаются лишь «голые» атомные ядра. Более тяжёлые элементы сохраняют самые глубокие электронные оболочки, переходя в состояние высокой степени ионизации.

Итак, корональный газ — это высокоионизованная плазма; она состоит из множества положительно заряженных ионов всевозможных химических элементов и чуть большего количества свободных электронов, возникших при ионизации атомов водорода (по одному электрону), гелия (по два электрона) и более тяжёлых атомов. Поскольку в таком газе основную роль играют подвижные электроны, его часто называют *электронным газом*, хотя при этом подразумевается наличие такого количества положительных ионов, которое полностью обеспечивало бы нейтральность плазмы в целом.

Белый цвет короны объясняется рассеянием обычного солнечного света на свободных электронах. Они не вкладывают своей энергии при рассеянии: колеблясь в такт световой волны, они лишь изменяют направление рассеиваемого света, при этом поляризуя его. Таинственные яркие линии в спектре порождены необычным излучением высокоионизованных атомов железа, аргона, никеля, кальция и других элементов, возникающих только в условиях сильного разрежения. Наконец, линии поглощения во внешней короне вызваны рассеянием на пылевых частицах, которые постоянно присутствуют в межзвёздной среде. А отсутствие линий во внутренней короне связано с тем, что при рассеянии на очень быстро движущихся электронах все световые кванты испытывают столь значительные изменения частот, что даже сильные фраунгоферовы линии солнечного спектра полностью «затмываются».

Корона Солнца — самая внешняя часть его атмосферы, самая разреженная и самая горячая. Добавим, что она и самая близкая к нам: оказывается, она простирается далеко от Солнца в виде постоянно движущегося от него потока плазмы — *солнечного*



ветра. Вблизи Земли его скорость составляет в среднем 400—500 км/с, а порой достигает почти 1000 км/с. Распространяясь далеко за пределы орбит Юпитера и Сатурна, солнечный ветер образует гигантскую гелиосферу, граничащую с ещё более разреженной межзвёздной средой.

Фактически мы живём окружённые солнечной короной, хотя и защищённые от её проникающей радиации надёжным барьером в виде земного магнитного поля. Через корону солнечная активность влияет на многие процессы, происходящие на Земле (геофизические явления).

КАК СОЛНЦЕ ВЛИЯЕТ НА ЗЕМЛЮ

Солнце освещает и согревает нашу планету, без этого была бы невозможна жизнь на ней не только человека, но даже микроорганизмов. Солнце — главный (хотя и не единственный) двигатель происходящих на Земле процессов. Но не только тепло и свет получает Земля от Солнца. Различные виды солнечного излучения и потоки частиц оказывают постоянное влияние на её жизнь.

Солнце посылает на Землю электромагнитные волны всевозможной длины — от многокилометровых радиоволн до чрезвычайно коротковолновых гамма-лучей. Окрестностей Земли достигают также заряженные частицы разной энергии — как высокой (солнечные космические лучи), так и низкой и средней (потоки солнечного ветра, выбросы от вспышек). Наконец, Солнце испускает мощный поток элементарных частиц — нейтрино. Однако их воздействие на земные процессы пренебрежимо мало: для этих частиц земной шар прозрачен, и они свободно пролетают сквозь него.

Только очень малая часть заряженных частиц из межпланетного пространства попадает в атмосферу Земли (остальные отклоняет или задерживает геомагнитное поле). Но их энергии достаточно для того, чтобы вызвать полярные сияния и возмущения магнитного поля нашей планеты.

ЭНЕРГИЯ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

Электромагнитное излучение подвергается строгому отбору в земной атмосфере. Она прозрачна только для видимого света и ближних ультрафиолетового и инфракрасного излучений, а также для радиоволн в сравнительно узком диапазоне (от сантиметровых до метровых). Всё остальное излучение либо отражается, либо поглощается атмосферой, нагревая и ионизуя её верхние слои.

Поглощение рентгеновских и жёстких ультрафиолетовых лучей начинается на высотах 300—350 км; на этих же высотах отражаются наиболее длинные радиоволны, приходящие из космоса. При сильных вспышках солнечного рентгеновского излучения от хромосферных вспышек рентгеновские кванты проникают до высот 80—100 км от поверхности Земли, ионизируют атмосферу и вызывают нарушение связи на коротких волнах.

Мягкое (длинноволновое) ультрафиолетовое излучение способно проникать ещё глубже, оно поглощается на высоте 30—35 км. Здесь ультрафиолетовые кванты разбивают на атомы (диссоциируют) молекулы кислорода (O_2) с последующим образованием озона (O_3). Тем самым создаётся непрозрачный для ультра-





фиолета «озонный экран», предохраняющий жизнь на Земле от губительных лучей. Не поглотившаяся часть наиболее длинноволнового ультрафиолетового излучения доходит до земной поверхности. Именно эти лучи вызывают у людей загар и даже ожоги кожи при длительном пребывании на солнце.

Излучение в видимом диапазоне поглощается слабо. Однако оно рассеивается атмосферой даже в отсутствие облаков, и часть его возвращается в межпланетное пространство. Облака, состоящие из капелек воды и твёрдых частиц, значительно усиливают отражение солнечного излучения. В результате до поверхности планеты доходит в среднем около половины падающего на границу земной атмосферы света.

Количество солнечной энергии, приходящейся на поверхность площадью 1 м^2 , развёрнутую перпендикулярно солнечным лучам на границе земной атмосферы, называется *солнечной постоянной*. Измерять её с Земли очень трудно, и потому значения, найденные до начала космических исследований, были весьма приблизительными. Небольшие колебания (если они реально существовали) заведомо «тонули» в неточности измерений. Лишь выполнение специальной космической программы по определению солнечной постоянной позволило найти её надёжное значение. По последним данным, оно составляет 1368 Вт/м^2 с точностью до 0,3 %. Колебаний, превышающих 0,2 %, за время измерений не выявлено.

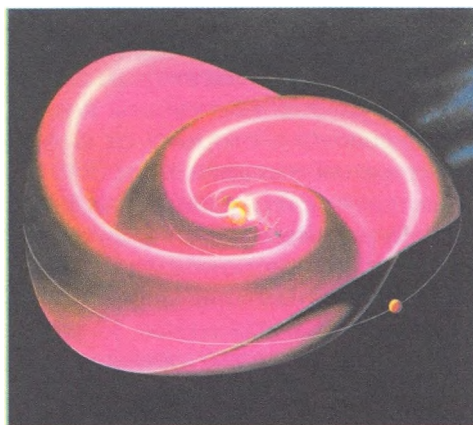
На Земле излучение поглощается сушей и океаном. Нагретая земная поверхность в свою очередь излучает в длинноволновой инфракрасной области. Для такого излучения азот и кислород атмосферы прозрачны. Зато оно жадно поглощается водяным паром и углекислым газом. Благодаря этим малым составляющим воздушная оболочка удерживает тепло.

В этом и заключается *парниковый эффект* атмосферы. Между приходом солнечной энергии на Землю и её потерями на планете, в общем, существует равновесие: сколько поступает, столько и расходуется. В противном случае температура земной поверхности вместе с атмосферой либо постоянно повышалась бы, либо падала.

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР И МЕЖПЛАНЕТНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

В конце 1950-х гг. американский астрофизик Юджин Паркер пришёл к выводу, что, поскольку газ в солнечной короне имеет высокую температуру, которая сохраняется с удалением от Солнца, он должен непрерывно расширяться, заполняя Солнечную систему. Результаты, полученные с помощью советских и американских космических аппаратов, подтвердили правильность теории Паркера.

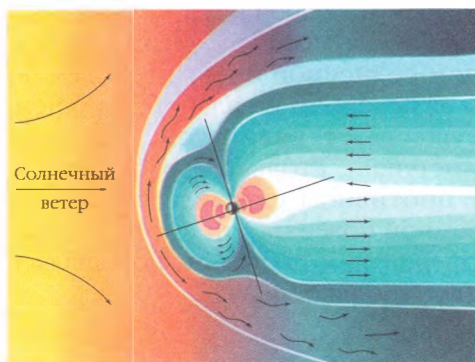
В межпланетном пространстве действительно мчится направленный от Солнца поток вещества, названный *солнечным ветром*. Он представляет собой продолжение расширяющейся солнечной короны; составляют его в основном ядра атомов водорода (протоны) и гелия



Траектории частиц солнечного ветра, движущихся вдоль линий магнитного поля. Спиральная структура обусловлена вращением Солнца.



Магнитосфера
Земли,
деформированная
солнечным
ветром.



(альфа-частицы), а также электроны. Частицы солнечного ветра летят со скоростями несколько сотен километров в секунду, удаляясь от Солнца на многие десятки астрономических единиц — туда, где межпланетная среда Солнечной системы переходит в разреженный межзвёздный газ. А вместе с ветром в межпланетное пространство переносится и солнечное магнитное поле.

Общее магнитное поле Солнца по форме линий магнитной индукции немного напоминает земное. Но силовые линии земного поля близ экватора замкнуты и не пропускают направленные к Земле заряженные частицы. Силовые линии солнечного поля, напротив, в экваториальной области разомкнуты и вытягиваются в межпланетное пространство, искривляясь подобно спиралям. Объясняется это тем, что силовые линии остаются связанными с Солнцем, которое вращается вокруг своей оси.

Солнечный ветер вместе с «вмороженным» в него магнитным полем формирует газовые хвосты комет, направляя их в сторону от Солнца. Встречая на своём пути Землю, солнечный ветер сильно деформирует её магнитосферу, в результате чего наша планета обладает длинным магнитным «хвостом», также направленным от Солнца. Магнитное поле Земли чутко отзывается на обдувающие её потоки солнечного вещества.

БОМБАРДИРОВКА ЭНЕРГИЧНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Помимо непрерывно «дующего» солнечного ветра наше светило служит источником энергичных заряженных частиц (в основном протонов, ядер атомов гелия и электронов) с энергией 10^6 — 10^9 электронвольт (эВ). Их называют *солнечными космическими лучами*. Расстояние от Солнца до Земли — 150 млн км — наиболее энергичные из этих частиц покрывают всего за 10—15 мин. Основным источником солнечных космических лучей служат хромосферные вспышки.

По современным представлениям, вспышка — это внезапное выделение энергии, накопленной в магнитном поле активной зоны. На определённой высоте над поверхностью Солнца возникает область, где магнитное поле на небольшом протяжении резко меняется по величине и направлению. В какой-то момент силовые линии поля внезапно «пересоединяются», конфигурация его резко меняется, что сопровождается ускорением заряженных частиц до высокой энергии, нагревом вещества и появлением жёсткого электромагнитного излучения. При этом происходит выброс частиц высокой энергии в межпланетное пространство и наблюдается мощное излучение в радиодиапазоне.

Хотя «принцип действия» вспышки учёные, по-видимому, поняли правильно, детальной теории вспышек пока нет.

Вспышки — самые мощные взрывоподобные процессы, наблюдаемые на Солнце, точнее, в его хромосфере. Они могут продолжаться всего несколько минут, но за это время выделяется энергия, иногда достигающая 10^{25} Дж. Примерно такое же количество тепла приходит от Солнца



на всю поверхность нашей планеты за целый год.

Потоки жёсткого рентгеновского излучения и солнечных космических лучей, рождающиеся при вспышках, оказывают сильное влияние на физические процессы в верхней атмосфере Земли и околоземном пространстве. Если не принять специальных

мер, могут выйти из строя сложные космические приборы и солнечные батареи. Появляется даже серьёзная опасность облучения космонавтов, находящихся на орбите. Поэтому в разных странах проводятся работы по прогнозированию солнечных вспышек на основании измерений солнечных магнитных полей.

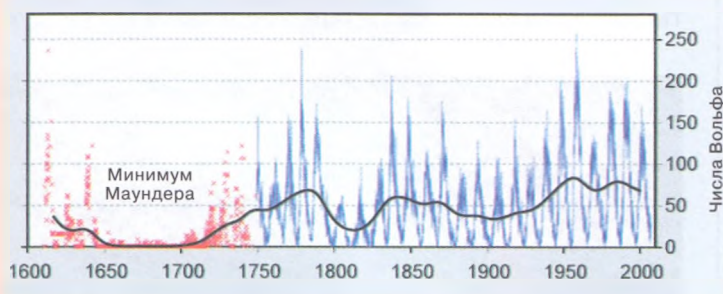
ЦИКЛЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Число пятен на диске Солнца не остаётся постоянным: оно меняется как день ото дня, так и в течение более длительных промежутков времени. Немецкий астроном-любитель Генрих Швабе, который 17 лет вёл систематические наблюдения солнечных пятен, заметил: их количество убывает от максимума к минимуму, а затем увеличивается до максимального значения за период около 10 лет. При этом в максимуме на солнечном диске можно видеть 100 и более пятен, тогда как в минимуме — всего несколько, а иногда в течение целых недель не наблюдается ни одного. Сообщение о своём открытии Швабе опубликовал в 1843 г.

Швейцарский астроном Рудольф Вольф уточнил, что средний период изменения числа пятен составляет не 10, а 11 лет. Он же предложил для количественной оценки активности Солнца использовать условную величину, называемую с тех пор *числом Вольфа*. Оно определяется как сумма общего количества пятен на Солнце (f) и удесятерённого числа групп пятен (g), причём изолированное одиночное пятно тоже считается группой:

$$W = f + 10g.$$

Цикл солнечной активности называют 11-летним во всех учебниках и популярных книгах по астрономии. Однако Солнце любит поступать по-своему. Так, за последние 50 лет промежутков между максимумами составлял в среднем 10,4 года. Вообще же за время регулярных наблюдений Солнца указанный период менялся от 7 до 17 лет. И это ещё не всё. Проанализировав наблюдения пятен с начала телескопических исследований, англий-



Циклы солнечной активности.

ский астроном Уолтер Маундер в 1893 г. пришёл к выводу, что с 1645 по 1715 г. на Солнце вообще не было пятен! Это заключение подтвердилось в последующих работах; мало того, выяснилось, что подобные «отпуска» Солнце брало и в более далёком прошлом. Кстати, именно на «маундеровский минимум» пришёлся период самых холодных зим в Европе за последнее тысячелетие.

На этом сюрпризы солнечных циклов не кончаются. Ведущее пятно в группе (первое по направлению вращения Солнца) обычно имеет одну магнитную полярность (например, северную), а замыкающее — противоположную (южную), и это правило выполняется для всех групп пятен в одном полушарии Солнца. В другом полушарии картина обратная: ведущие пятна в группах будут иметь южную полярность, а замыкающие — северную. Но оказывается, при появлении пятен нового поколения (следующего цикла) полярность ведущих пятен меняется на противоположную! Лишь в циклах через один ведущие пятна обретают прежнюю полярность. Так что «истинный» солнечный цикл с возвращением прежней магнитной полярности ведущих пятен в действительности охватывает не 11, а 22 года (конечно, в среднем).



Как и рентгеновское излучение, солнечные космические лучи не доходят до поверхности Земли, но могут ионизовать верхние слои её атмосферы, что сказывается на устойчивости радиосвязи между отдалёнными пунктами. Но действие частиц этим не ограничивается. Быстрые частицы вызывают сильные токи в земной атмосфере, приводят к возмущению магнитного поля нашей планеты и даже влияют на циркуляцию воздуха в атмосфере.

Полярное сияние.



Наиболее ярким и впечатляющим проявлением бомбардировки атмосферы солнечными частицами являются *полярные сияния*. Это свечение в верхних слоях атмосферы,

имеющее либо размытые (диффузные) формы, либо вид корон или занавесей (драпери), состоящих из многочисленных отдельных лучей. Сияния обычно бывают красного или зелёного цвета: именно так светятся основные составляющие атмосферы — кислород и азот — при облучении их энергичными частицами. Зрелище бесшумно возникающих красных и зелёных полос и лучей, беззвучная игра цветов, медленное или почти мгновенное угасание колеблющихся занавесей оставляют незабываемое впечатление. Подобные явления лучше всего видны вдоль овала полярных сияний, расположенного между 10° и 20° широты от магнитных полюсов. В период максимумов солнечной активности овал расширяется, и сияния можно наблюдать в более низких широтах.

Частота и интенсивность полярных сияний достаточно чётко следуют солнечному циклу: в максимуме солнечной активности редкий день обходится без сияний, а в минимуме они могут отсутствовать месяцами. Наличие или отсутствие полярных сияний, таким образом, служит неплохим показателем активности Солнца. И это позволяет проследить солнечные циклы в прошлом, за пределами того исторического периода, когда проводились систематические наблюдения солнечных пятен.





ПЛАНЕТЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

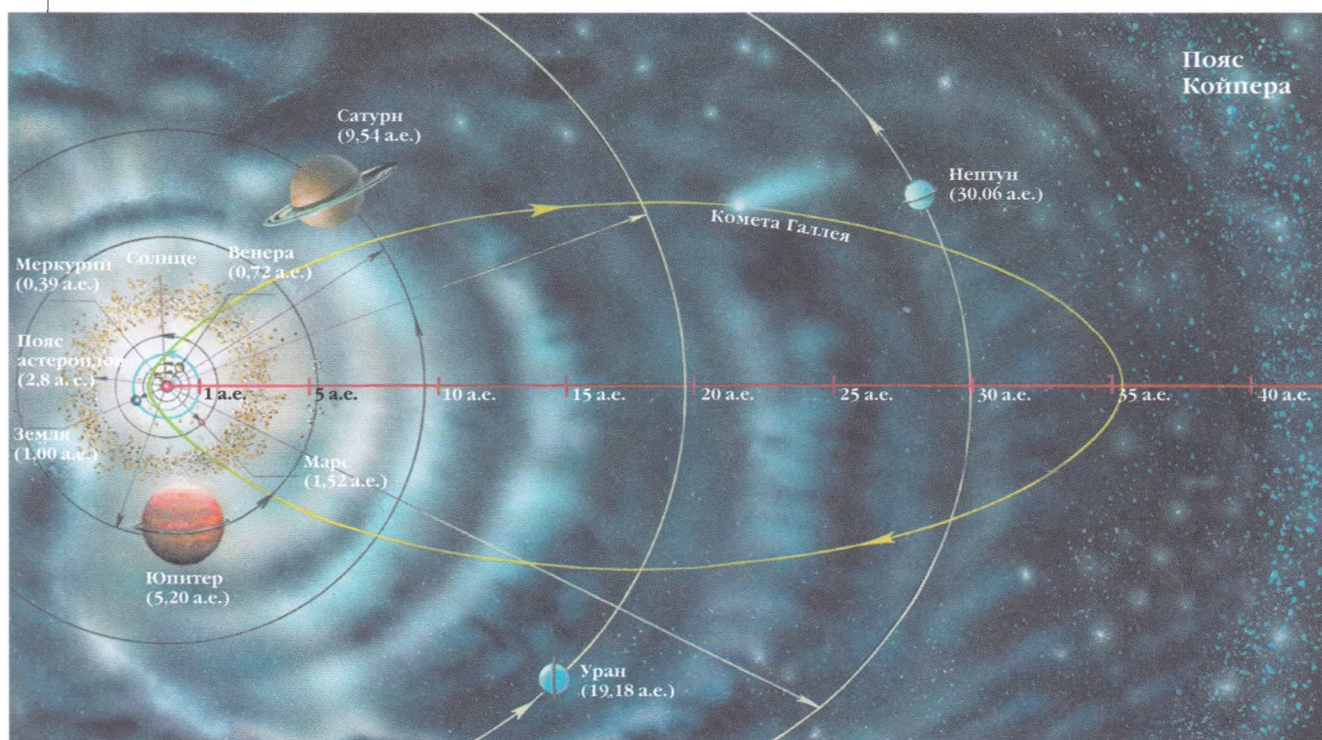
ЧТО ТАКОЕ СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА И КАК ОНА УСТРОЕНА

Солнечная система — это система космических небесных тел, связанных друг с другом силами тяготения. В неё входят центральное светило Солнце, в котором заключено около 99,87 % всей массы Солнечной системы, обращающиеся вокруг него планеты, карликовые планеты и малые тела, а также все естественные спутники. Новейшие астрономические открытия привели к тому, что последняя классификация тел, входящих в Солнечную систему, была проведена совсем недавно — в 2006 г.

На сегодняшний день к планетам относят восемь крупных небесных тел, которые под действием собствен-

ной гравитации приняли форму шара: Меркурий, Венеру, Землю, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Их масса достаточна для поддержания гидростатического равновесия, при котором давление недр уравнивается силами гравитации, и настолько велика, что в окрестностях орбиты имеется пространство, практически свободное от других тел. Все планеты расположены почти в одной плоскости и обращаются вокруг Солнца по круговым орбитам в одном направлении.

Карликовые планеты тоже обращаются вокруг Солнца, находятся в гидростатическом равновесии и име-



План Солнечной системы. Указаны средние расстояния объектов от Солнца в астрономических единицах (1 а. е. = 149,6 млн км).

ют форму шара, однако их масса недостаточна для того, чтобы освободить окрестности орбиты от других тел. Например, отношение массы Плутона, второй по размеру карликовой планеты, к массе других тел в окрестностях его орбиты равно всего лишь 0,07. Ещё для одной карликовой планеты, Цереры, оно составляет 0,33, в то время как для Юпитера это отношение равно 318, а для Земли — 1,7 млн.

В настоящее время официально признано пять карликовых планет, хотя предполагается, что их в Солнечной системе может быть гораздо больше: это Церера, Плутон, Хаумеа, Макемаке и Эрида — самая большая из карликовых планет, расположенная в наиболее удалённых областях Солнечной системы. До 2006 г. Плутон считался планетой, но открытие на рубеже XX и XXI вв. объектов, сравнимых по размерам с Плутоном, в частности Эриды, потребовало более чёткой формулировки понятия «планета».

Объекты небольших масс, обращающиеся вокруг Солнца и слишком маленькие для того, чтобы под действием сил собственной гравитации поддерживать сферическую форму, называют *малыми телами* Солнечной системы. К ним относят большинство астероидов, кометы, кентавры (ледяные кометоподобные объекты, движущиеся между орбитами Юпитера и Нептуна), метеороиды (тела размером от 0,1 мм до 10 м), а также межпланетная пыль, частицы солнечного ветра (потока плазмы от Солнца) и свободные атомы водорода.

Спутниками называют тела, обращающиеся вокруг планеты, карликовой планеты или астероида. Большинство спутников планет обращается вокруг них в ту же сторону, что и планеты вокруг Солнца. У планет на сегодняшний день известно 168 естественных спутников, а у карликовых планет их шесть (три у Плутона, два у Хаумеа и одна у Эриды).



СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

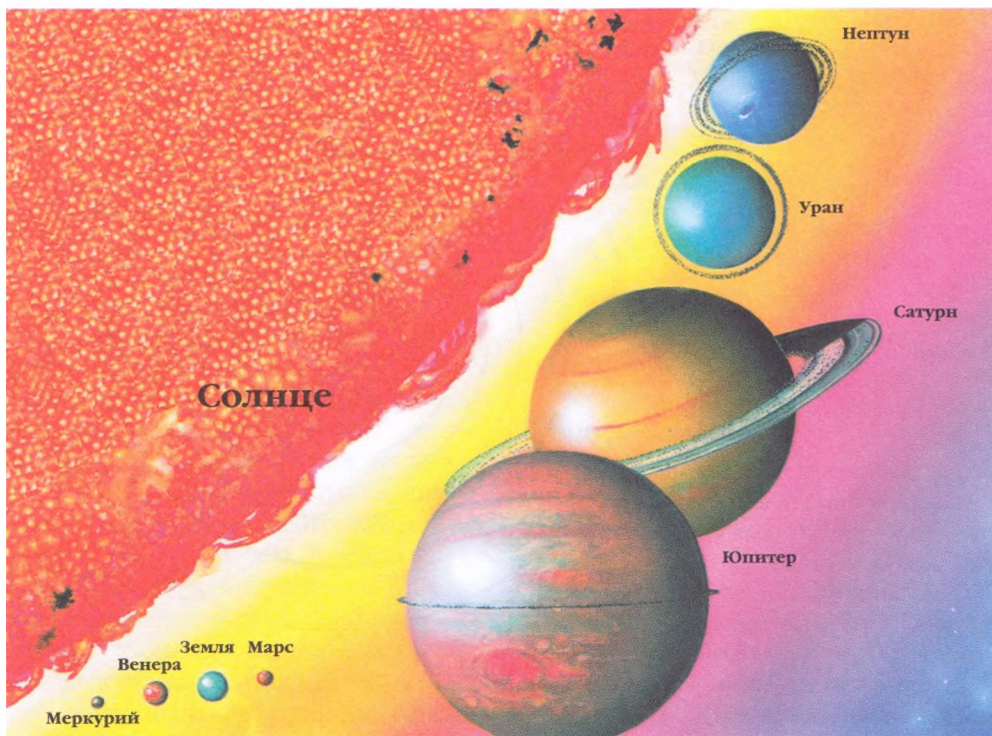
Говоря о Солнечной системе, мы будем использовать понятия астрономической единицы (1 а. е. = 149 597 870,610 км) — среднего расстояния от Земли до Солнца, и эклиптики — плоскости, в которой расположена орбита Земли.

Солнце — центральный объект Солнечной системы. От солнечной короны до далёких окраин тянется межпланетное пространство, по которому перемещаются электромагнитное излучение и такие малые тела, как кометы, метеороиды, частицы солнечного ветра и межпланетная пыль. Солнечную систему условно делят на две области — внутреннюю и внешнюю.

Во внутренней области расположены ближайшие к Солнцу планеты Меркурий, Венера, Земля и Марс, которые называют *планетами земной*

группы. Они обладают высокой плотностью и образованы преимущественно тяжёлыми элементами, такими, как кислород, кремний, железо, никель и др. Все планеты земной группы имеют железное ядро, мантию, состоящую из силикатов, и кору, которая образовалась в результате выплавления из мантии лёгких элементов. У планет земной группы мало спутников (от 0 до 2), нет колец и есть атмосфера — газовая оболочка, которая удерживается гравитацией планеты и вращается вместе с ней как единое целое.

Также во внутренней области Солнечной системы, между 2,3 и 3,3 а. е. от Солнца, расположен Главный пояс астероидов — большая концентрация астероидов в сравнительно узком пространстве межпланетной среды между орбитами Марса и Юпитера. Скорее всего, он является так и не сформировавшейся планетой, образованию которой помешало гравитационное влияние Юпитера и (в меньшей степени) других планет-гигантов.



Сравнительные размеры Солнца и планет.



ПЕРВОЕ ОПИСАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Поскольку ничто не препятствует подвижности Земли, то я полагаю, что нужно рассмотреть, не может ли она иметь несколько движений, так чтобы её можно было считать одной из планет. Хотя всё это и очень трудно и даже почти невозможно помыслить, однако, вопреки мнению многих, если Бог позволит, мы сделаем это яснее Солнца для людей, по крайней мере не невежд в математическом искусстве.

Первой и наивысшей из всех является сфера неподвижных звёзд, содержащая самоё себя и всё, и потому неподвижная. Она служит местом Вселенной, к которой относятся движения и положения всех остальных светил. Далее следует первая из планет — Сатурн, завершающая своё обращение в 30 лет, после него — Юпитер, движущийся 12-летним обращением, затем — Марс, который делает круг в два года. Четвёртое по порядку место занимает планета с годовым обращением, в этом пространстве содержится Земля с лунной орбитой, как бы эпициклом. На пятом месте стоит Венера, возвращающаяся на девятый месяц. Наконец, шестое место занимает Меркурий, делающий круг в 80 дней.

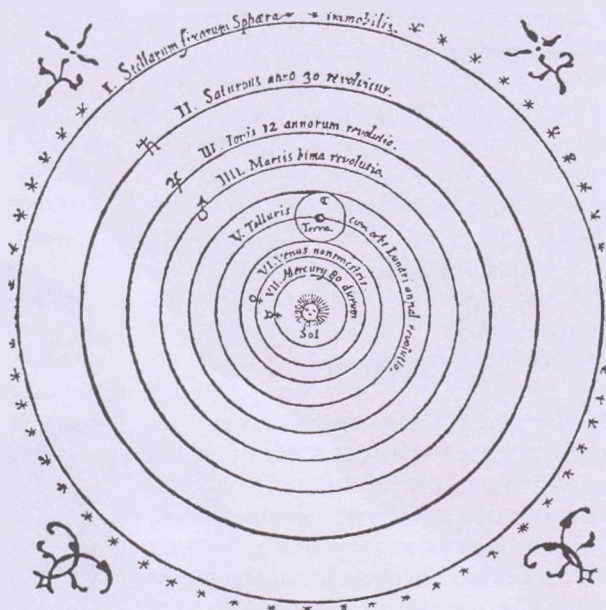
В середине всего находится Солнце. Действительно, в таком великолепном храме кто мог бы поместить этот светильник в другом и лучшем месте, как не в том, откуда он может одновременно всё освещать. Ведь не напрасно некоторые называют Солнце светильником мира, другие — умом его, а третьи — правителем. Гермес Трисмегист (легендарный основатель оккультных наук, считается автором трактатов по магии, астрологии, алхимии. — Прим. ред.) называет его видимым божеством, а Софокла Электра — всевидящим. Конечно, именно так Солнце, как бы восседая на царском троне, правит обходящей вокруг него семьёй светил. Так же и Земля не лишается обслуживания Луной, но, как говорит Аристотель, Луна имеет наибольшее сродство с Землёй. В то же время Земля зачинает от Солнца и плодоносит каждый год.

Таким образом, в этом расположении мы находим удивительную соразмерность мира и определённую гармоническую связь между движением и величиной орбит, которую иным способом нельзя обнаружить. Теперь, в свете новых знаний, человеку неленивому в своих созерцаниях и размышлениях следует объяснить себе, по какой причине петли попятного движения у Юпитера представляются большими, чем у Сатурна, но меньшими, чем у

Марса, а также почему Сатурн, Юпитер и Марс в противостоянии (когда они видимы в течение всей ночи) оказываются ближе к Земле, чем в то время, когда они видны вблизи Солнца. Ведь когда Марс, например, делается видимым в течение всей ночи, он по величине блеска представляется равным Юпитеру (отличаясь от него только красноватым цветом), в другое же время он едва находится среди звёзд второй величины и распознаётся только в результате тщательного наблюдения следящих за ним. Всё это происходит по одной причине, которая заключается в движении Земли среди планет.

А то, что никаких подобных изменений (вследствие движения Земли) не замечается у неподвижных звёзд, только доказывает неизмеримую их высоту, которая заставляет исчезать из вида даже орбиту Земли или её отображение. Мерцающий свет звёзд доказывает, что между наивысшей из планет Сатурном и сферой неподвижных звёзд находится ещё очень большой промежуток. Мерцанием они больше всего отличаются от планет, так как необходимо, чтобы наибольшее различие было между движимым и недвижимым. Так велико это божественное творение Всеблагого и Всевышнего.

По книге Николая Коперника
«О вращениях небесных сфер». 1543 г.



Система мира Коперника. Чертёж из книги
«О вращениях небесных сфер».



За Главным поясом астероидов начинается внешняя область Солнечной системы. Там царствуют *планеты-гиганты* Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, на которые приходится 99 % всей массы вещества, обращающегося вокруг Солнца. Они заметно отличаются от планет земной группы по составу и физическим условиям. Эти планеты гораздо массивнее и больше, они менее плотные и состоят из лёгких элементов (преимущественно водорода и гелия), имеют мощные атмосферы, много спутников (от 13 до 63) и системы колец из пыли и льда, самая развитая из которых — кольца Сатурна — легко наблюдается с Земли. Считается, что образование газовых гигантов в Солнечной системе началось после того, как температура околосолнечной туманности заметно упала и твёрдые планеты земной группы (от Меркурия до Марса) уже были сформированы.

За орбитой Нептуна, на расстоянии порядка 35—50 а. е. от Солнца, расположен *пояс Койпера* (или Эджворта — Койпера) — большое скопление малых тел. Он превышает пояс астероидов в 20 раз по протяжённости и в 20—200 раз по массе, его объекты движутся приблизительно в плоскости орбит планет. Возможно, это остаток протопланетной туманности, из которой образовалась Солнечная система.

За поясом Койпера, частично перекрываясь с ним, располагается рассеянный диск — удалённый регион Солнечной системы, слабо заселённый малыми телами. Объекты рассеянного диска имеют сильно вытянутые, наклонённые к эклиптике и даже перпендикулярные ей орбиты, которые могут простирались до 150 а. е. от Солнца. Предположительно рассеянный диск является источником короткопериодических комет. Происхождение рассеянного диска до конца не ясно, возможно, он сформировался, когда объекты по-

яса Койпера были рассеяны за счёт гравитационного взаимодействия с внешними планетами, главным образом Нептуном, после чего их орбиты сильно вытянулись и наклонились по отношению к эклиптике.

Многие косвенные факторы указывают на то, что за рассеянным диском находится сферическая область Солнечной системы, из которой к нам прилетают долгопериодические кометы. Инструментально существование этой области, которую называют *облаком Оорта*, не подтверждено, поэтому оценки её размеров очень приблизительны: от 2000—5000 а. е. до 50 000 или даже 100 000 а. е. Считается, что облако Оорта является остатком исходного протопланетного диска. Предположительно объекты, составляющие облако Оорта, образовались около Солнца и были рассеяны далеко в космос гравитационными эффектами планет-гигантов на раннем этапе развития Солнечной системы.

У членов пояса Койпера, рассеянного диска и облака Оорта среднее расстояние до Солнца больше, чем у Нептуна, поэтому их называют *транснептуновыми объектами*. Все они состоят из замёрзших метана, воды и аммиака, в то время как астероиды образовались из силикатов и металлов и схожи по составу с планетами земной группы. Судя по оценкам, в поясе Койпера около 450 000 объектов диаметром более 50 км, в поясе астероидов — порядка 400 000 небесных тел, а в облаке Оорта содержатся несколько триллионов ядер комет, размеры которых превышают 1,3 км.

На расстоянии около 120 а. е. от Солнца (в четыре раза дальше Плутона) расположена *гелиопауза* — область, в которой солнечный ветер смешивается с межзвёздным веществом; она считается началом межзвёздной среды. Но гравитационное влияние Солнца простирается



гораздо дальше. Оно преобладает над гравитацией соседних звёзд на расстояниях порядка 125 000 а. е.

Большая часть Солнечной системы до сих пор не исследована. Практически ничего не известно о гигантской протяжённой области между поясом Койпера и облаком Оорта, а также о гораздо менее мас-

штабной, но столь же неизведанной для нас области между Солнцем и Меркурием. Предполагается, что до 2020 г. космические аппараты «Вояджер» пересекут гелиопаузу и мы сможем расширить свои знания о внешних областях Солнечной системы и свои представления о межзвёздной среде.

МЕРКУРИЙ: ВО ВЛАСТИ СОЛНЦА

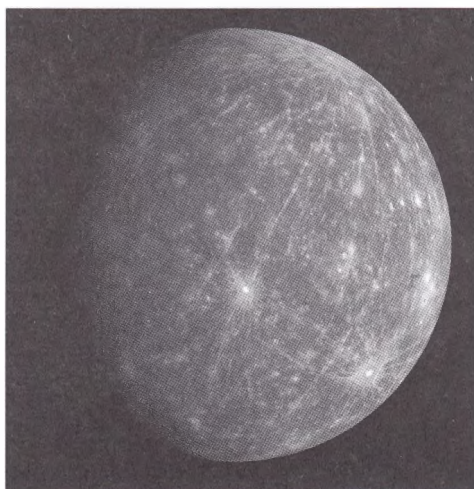
Ближайшая к Солнцу планета земной группы, Меркурий, – самая маленькая из восьми больших планет Солнечной системы. Его наблюдали ещё древние шумеры в III тысячелетии до н. э., о чём свидетельствуют их клинописные тексты. Период наилучшей видимости Меркурия, когда на небе он максимально удаляется от Солнца (от 18° до 28°), наступает всего несколько раз в году и продолжается около 10 дней, но из-за яркого сумеречного света планету трудно увидеть на высоких широтах, где Солнце полого опускается за горизонт или восходит из-за него. По этой причине лучшие условия для вечерних наблюдений наступают весной, а для утренних – осенью.

Наилучшие условия для наблюдения Меркурия достигаются на низких широтах, вблизи экватора, где продолжительность сумерек наименьшая. Меркурий появляется низко над горизонтом не более чем на 1,5 ч и выглядит как неяркая звёздочка на довольно светлом фоне неба, теряясь в лучах утренней или вечерней зари. Между появлением Меркурия по утрам на востоке или по вечерам на западе проходит от 106 до 130 суток, в среднем 116 суток, поэтому в древности люди принимали Меркурий за два различных светила.

ДВИЖЕНИЕ МЕРКУРИЯ

Меркурий – самая быстрая планета в Солнечной системе, он движется по орбите вокруг Солнца со средней скоростью около 48 км/с. Период его обращения составляет 87,97 земных суток, а среднее расстояние до Солнца равно 57,9 млн км (0,39 а. е.). Орбита Меркурия наклонена к эклиптике на 7° и сильно вытянута: разность расстояний в самой близкой и далёкой от Солнца точках равна 23,8 млн км. Из-за своего расположения Меркурий получает на квадратный метр поверхности в среднем в 6,7 раз больше солнечного света, чем Земля. У планеты нет естественных спутников, а первый искусственный спутник должен появиться в 2011 г.

Меркурий.
Изображение,
составленное
по съёмкам
американского
космического
аппарата
«Мессенджер».





До середины 1960-х гг. считалось, что Меркурий совершает один оборот вокруг своей оси за один меркурианский год и поэтому всё время повёрнут к Солнцу одной и той же стороной — как Луна к Земле. Наблюдения деталей на поверхности Меркурия вроде бы подтверждали этот факт. Рассеять заблуждение удалось только после того, как была проведена радиолокация Меркурия.

Оказалось, что продолжительность меркурианских звёздных суток равна 58,65 земных суток. Относительно земного наблюдателя средний период его вращения составляет около 70 суток. За пять таких периодов трижды наступает его вечерняя видимость, причём из них благоприятная (весенняя) — лишь однажды. Такая соизмеримость периодов вращения Меркурия вокруг своей оси и его обращения вокруг Солнца привела к тому, что астрономы в последовательные благоприятные периоды наблюдали приблизительно один и тот же участок поверхности планеты.

Существуют и другие уникальные комбинации движений планеты. Так, за один оборот вокруг Солнца Меркурий успевает совершить 1,5 оборота вокруг своей оси и поэтому на поверхности планеты существует два меридиана, которые попеременно обращены к Солнцу во время прохождения перигелия. На этих «горячих долготах» даже по меркам Меркурия весьма жарко: температура там в экваториальных областях достигает 427 °C.

Другой интересный эффект связан с тем, что скорость вращения планеты вокруг своей оси приблизительно постоянна, а скорость орбитального движения заметно меняется из-за сильной вытянутости орбиты. В результате при прохождении планетой перигелия в течение примерно восьми суток скорость орбитального движения превышает скорость вра-

НОВОСТИ МЕРКУРИЯ: ХВОСТ И ЛЁД

Современные радарные исследования приполярных областей планеты показали наличие вещества, сильно отражающего радиоволны. Это может быть водяной лёд, ведь молекулы воды попадают в атмосферу Меркурия при ударах комет. Солнце поочерёдно освещает оба полушария планеты, но в глубокие долины вблизи полюсов его лучи не проникают никогда, и в этих тёмных холодных зонах могут существовать ледники толщиной до двух метров.

А в 2008 г. американские астрономы сообщили об открытии у Меркурия «хвоста» длиной более 2,5 млн км. Он состоит из атомов натрия, кальция и магния, выбитых с поверхности планеты в результате столкновения с тяжёлыми частицами солнечного ветра и метеороидами.

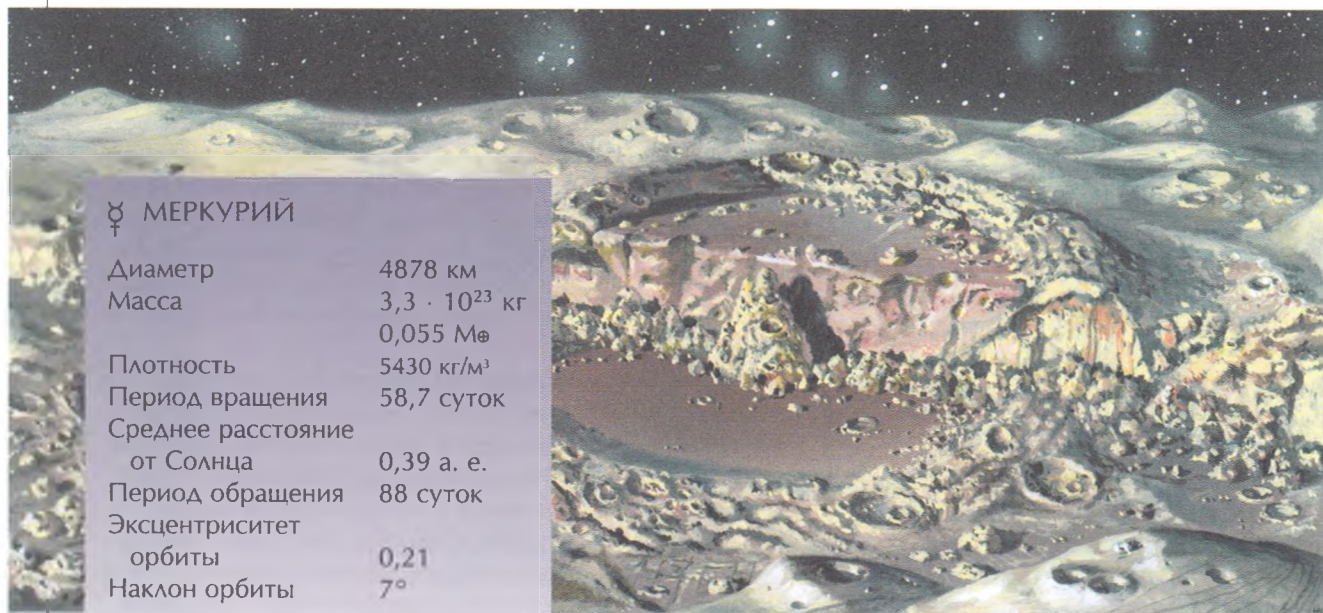
Часть выбитых атомов остаётся в атмосфере планеты, а те частицы, которые под действием солнечного излучения преодолевают гравитационное поле Меркурия, покидают планету и образуют хвост, похожий на хвост комет. Из-за сильной вытянутости орбиты Меркурия давление солнечного излучения на выбитые с поверхности планеты частицы сильно меняется и, как следствие, в десятки раз изменяется концентрация частиц в хвосте в зависимости от положения Меркурия на орбите.

щения планеты вокруг своей оси и Солнце в меркурианском небе сначала останавливается, а потом начинает двигаться в обратном направлении — с запада на восток.

ПОВЕРХНОСТЬ И АТМОСФЕРА ПЛАНЕТЫ

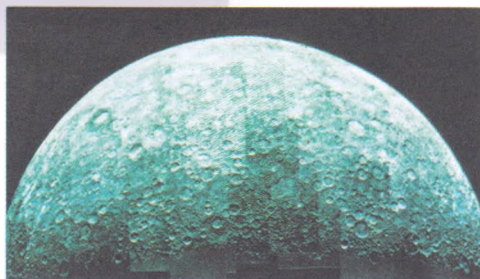
Одной из особенностей Меркурия является очень разреженная атмосфера, состоящая из атомов гелия, водорода, аргона, неона и др. Она образовалась из захваченных планетой частиц солнечного ветра, а также из частиц, которые были выбиты солнечным ветром с её поверхности. В среднем каждый атом гелия находится в атмосфере Меркурия порядка 200 дней, а затем покидает планету.

Концентрация атомов у поверхности Меркурия составляет не бо-



♿ МЕРКУРИЙ

Диаметр	4878 км
Масса	$3,3 \cdot 10^{23}$ кг
	0,055 М _Ю
Плотность	5430 кг/м ³
Период вращения	58,7 суток
Среднее расстояние от Солнца	0,39 а. е.
Период обращения	88 суток
Эксцентриситет орбиты	0,21
Наклон орбиты	7°



лее 10^6 см⁻³, аналогичные значения достигаются в земной атмосфере на высоте 700 км. Такая разреженная атмосфера не в состоянии защитить поверхность планеты от ударов метеоритов, поэтому она покрыта кратерами самых различных размеров, хотя встречаются области (их называют *равнинами*), в которых плотность кратеров существенно меньше.

Поперечный размер самого большого кратера на Меркурии, который назван в честь великого немецкого композитора Бетховена, составляет 625 км, а диаметр одной из самых заметных деталей поверхности — Равнины Жары равен 1300 км. От многих кратеров расходятся «лучи», простирающиеся на сотни и тысячи километров.

В целом ландшафт Меркурия напоминает лунный и позволяет предположить, что планета сформировалась около 4,5 млрд лет назад и прошла те же стадии, что и Луна. Однако есть и отличия. На поверхности Меркурия встречаются громадные уступы, высотой до нескольких километров и длиной тысячи километров, которые свидетельствуют о том, что остывание планеты в процессе эволюции сопровождалось сжатием. Сжатие привело к тому, что поверхность Меркурия в процессе эволюции уменьшилась на 1 %.

Отсутствие плотной атмосферы в сочетании с близостью к Солнцу и достаточно медленным вращением приводит к самым резким в Солнечной системе перепадам температур. Средняя температура дневной поверхности Меркурия столь высока (350 °С), что на ней могли бы образоваться свинцовые реки (температура плавления свинца 327 °С), в то время как средняя температура ночной поверхности планеты опускается до значений -170 °С.

Поверхностный слой грунта представляет собой мелко раздробленную породу с низкой плотностью.



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И СТРОЕНИЕ МЕРКУРИЯ

Форма Меркурия близка к сферической, а его радиус сравним с радиусом Луны и с точностью $\pm 1,0$ км равен 2440 км. По средней плотности ($5,43 \text{ г/см}^3$) Меркурий похож на Землю, но масса его значительно меньше и составляет всего 5,5 % массы Земли — $3,3 \cdot 10^{23}$ кг. Это необычная «железная» планета с гигантским железоникелевым ядром, предположительно жидким. Отношение радиусов ядра и всей планеты (около 0,8) наибольшее среди планет земной группы, а скрывающая ядро внешняя силикатная оболочка по составу похожа на породы поверхности Луны и имеет толщину всего 700—800 км.

Меркурий обладает магнитным полем, происхождение которого пока не находит однозначного объяснения. Его форма симметрична и похожа на форму магнитного поля Земли, но напряжённость в 300 раз меньше земного. Магнитосфера Меркурия (область пространства вокруг него, поведение плазмы в которой определяется магнитным полем планеты) примерно в 18 раз меньше земной магнитосферы.

Большую часть времени Меркурий расположен к Земле ближе, чем Венера и Марс. В первое десятилетие XXI в. наземные и космические наблюдения планеты позволили учёным сделать много интересных открытий. Но несмотря на это, Меркурий на сегодняшний день всё ещё остаётся наименее изученной планетой земной группы.

▲ Полярный район Меркурия.

◀◀ Эскарп (уступ) на поверхности Меркурия.

◀◀◀ Бассейн Калорис на Меркурии.

ВЕНЕРА: СУРОВЫЙ МИР ПОД ОБЛАЧНЫМ ПОКРОВОМ

Только две из восьми больших планет Солнечной системы носят женские имена — это Земля и Венера. Вторая планета от Солнца и наша ближайшая соседка названа в честь самой прекрасной римской богини любви

и красоты. Возможно, это связано с тем, что из всех небесных светил ярче неё сияют только Луна и Солнце. Отличительным признаком Венеры на звёздном небе является её ровный белый цвет, а своей высокой ярко-



Радиоизображение диска Венеры по съёмкам космического аппарата «Магеллан».

► Венера в ультрафиолетовых лучах.

стью планета обязана окружающим её плотным облакам, которые ярко-красно отражают солнечный свет.

Венера, как и Меркурий, относится к внутренним планетам, так как её орбита расположена к Солнцу ближе, чем орбита Земли. Благодаря такому расположению планета на небе следует за Солнцем буквально по пятам, удаляясь от него не больше, чем на $47,8^\circ$. Кроме того, она меняет свой облик от тонкого серпика до полного диска.

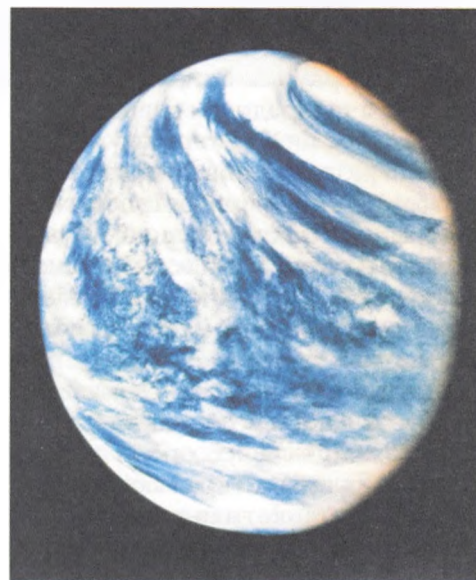
В древности Венеру, как и Меркурий, принимали за два различных небесных светила. Греки считали, что на востоке в лучах утренней зари появляется Фосфор — божество Утренней звезды, а в предзакатные часы на западе перед ними предстаёт Геспер — бог Вечерней звезды. И только позднее астрономы пришли к заключению, что это одно и то же небесное тело.

Максимальной яркости Венера достигает незадолго до восхода или захода Солнца, но иногда планету бывает видно невооружённым глазом даже днём. Яркая и притягательная, до недавнего времени она под мощным облачным покровом надёжно скрывала свою поверхность, и поэтому люди называли её «планетой тайн».

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Среднее расстояние от Венеры до Солнца равно 108,2 млн км (0,72 а. е.). Располагаясь на 41,4 млн км ближе к светилу, чем Земля, она получает тепла и света в два раза больше нашей планеты. Средняя температура венерианской поверхности 460°C . Это существенно превышает температуру поверхности Меркурия, находящегося вдвое ближе к Солнцу! Причиной столь высокой температуры на Венере является парниковый эффект, создаваемый плотной атмосферой.

Радиус Венеры 6051,8 км почти не отличается от земного (95 %), масса $4,87 \cdot 10^{24}$ кг и средняя плотность $5,24 \text{ г/см}^3$ тоже близки к земным (81,5 % и 95 %). Венера движется практически по круговой орбите в ту же сторону, что и другие планеты, причём орбита у неё самая «круглая» из всех планет Солнечной системы. Скорость орбитального движения Венеры равна 35 км/с, и планета совершает один оборот вокруг Солнца за 224,7 земных суток. Период вращения Венеры вокруг своей оси удалось определить лишь в начале 1960-х гг., когда стали применять



методы радиолокации. Оказалось, что он превышает период обращения планеты вокруг Солнца и равен 243 суткам. Тогда же было установлено, что вращается Венера с востока на запад, т. е. в направлении, противоположном направлению вращения Земли и большинства других планет, поэтому Солнце на Венере восходит на западе. Ось вращения планеты отклонена от перпендикуляра к плоскости орбиты на 2° . Естественных спутников Венера не имеет.



ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И ПОВЕРХНОСТЬ

Считается, что Венера, как и другие планеты земной группы, состоит из ядра, мантии и поверхностного слоя — коры. Кора Венеры очень тонкая, приблизительно 16 км толщиной, она ослаблена высокими температурами и предоставляет лаве много возможностей вырваться из недр на поверхность. Под корой расположена мантия — силикатная оболочка, простирающаяся вглубь на 3300 км и покрывающая железное ядро, масса которого составляет около четверти массы всей планеты, а плотность вещества в самом центре предположительно достигает 14 г/см³. Собственного магнитного поля у Венеры не найдено.

В видимом диапазоне поверхность планеты нельзя рассмотреть даже с орбиты искусственного спутника, потому что она скрывается под толстым слоем очень густых облаков серной кислоты, которые хорошо отражают видимый свет, но пропускают радиоволны. Именно поэтому исследование поверхности Венеры стало возможным только с развитием радиолокационных методов.

Оказалось, что большая часть Венеры покрыта холмистыми равнина-

ми, но на планете также обнаружены обширные возвышенности и низменности, отдельные горные массивы, ударные кратеры и тысячи погасших древних вулканов высотой от 1 до 6 км. Некоторые учёные полагают, что вулканическая деятельность продолжается и в настоящее время, хотя непосредственных подтверждений этому пока не обнаружено.

Поверхность Венеры состоит преимущественно из каменных пород: базальтовой лавой покрыто 90 % планеты. В состав пород, обнаруженных на планете, входят оксиды кремния, алюминия, магния, железа, кальция и других элементов.

По геологическим меркам поверхность Венеры молода — её средний возраст оценивается в 500 млн лет. О том, что поверхность планеты претерпела в недавнем прошлом обновление, свидетельствует относительно небольшое количество ударных кратеров: их обнаружено чуть больше 800. Вероятно, кратеры образовались, когда атмосфера планеты была не такая плотная, как сейчас, но и тогда она не пропускала мелкие метеориты, поэтому самый маленький кратер имеет диаметр целых два километра.

На возвышенности приходится всего 8 % поверхности планеты, причём крупнейшие из них, Земля

Трещины на поверхности Венеры.



Лавовые потоки на поверхности Венеры.



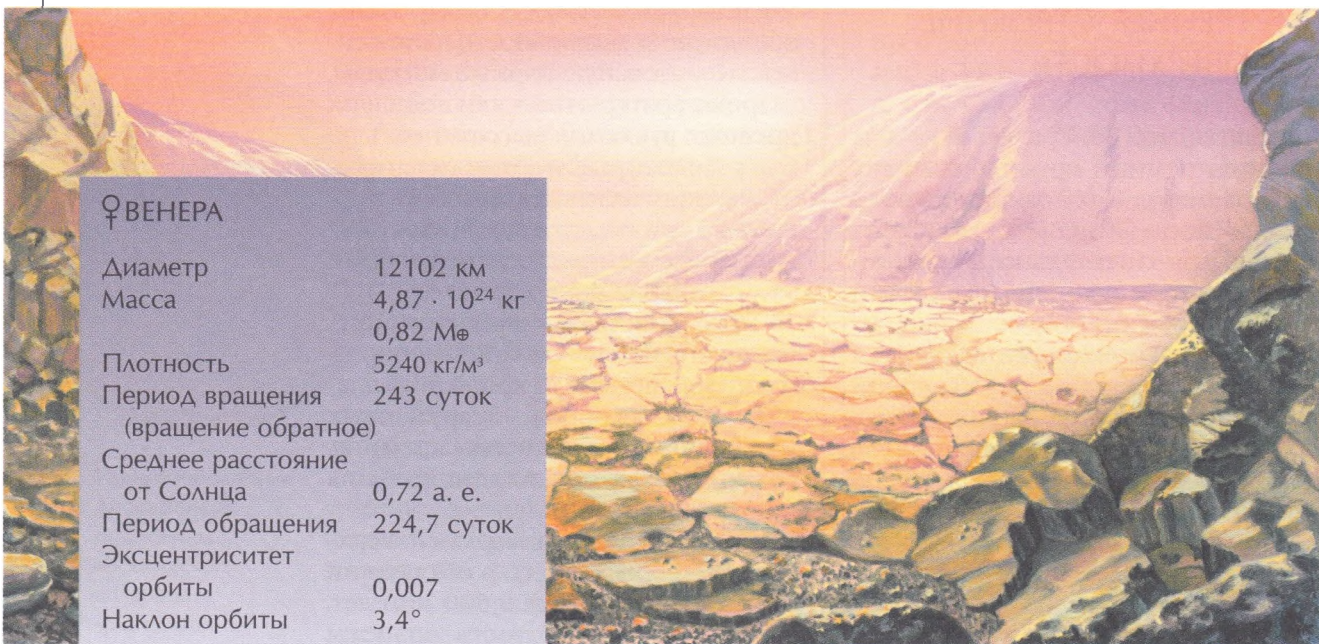
Эти «оладьи» — своеобразное проявление вулканизма, когда сквозь трещины коры выдавливается очень вязкая лава.





♀ ВЕНЕРА

Диаметр	12102 км
Масса	$4,87 \cdot 10^{24}$ кг
	0,82 М _З
Плотность	5240 кг/м ³
Период вращения	243 суток
(вращение обратное)	
Среднее расстояние от Солнца	0,72 а. е.
Период обращения	224,7 суток
Эксцентриситет орбиты	0,007
Наклон орбиты	3,4°

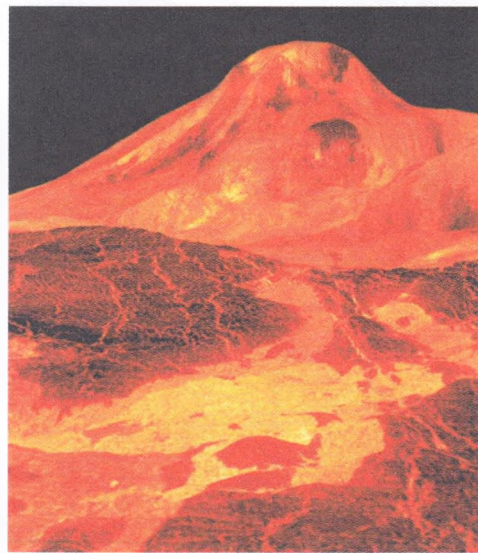


► Гора Маат на Венере (высота 8 км). Компьютерное изображение по данным аппарата «Магеллан». Вертикальный масштаб увеличен.

Иштар и Земля Афродиты, сравнимы по своим размерам с земными материками. Многочисленные гряды, которые напоминают сети хребтов в центральных частях земных океанов, простираются на Венере с севера на юг на сотни и тысячи километров. Встречаются на Венере и необычные формы рельефа, которых нет на других планетах: пересечения хребтов и долин, похожие на паркет, а также впадины овальной формы с приподнятой центральной частью, окружённые

валами. Возможно, они появились в результате активной конвекции в мантии планеты.

Всем деталям рельефа на Венере принято давать женские имена, и только высочайший горный хребет планеты в виде исключения назван в честь выдающегося английского физика Джеймса Максвелла. На карте Венеры можно встретить упомина-





Снимки поверхности Венеры, сделанные посадочным модулем станции «Венера-13».

▼►



Верхнее изображение воспроизводит натуральное освещение на Венере; нижнее показывает, как это выглядело бы при земном освещении.



▲
«Русло»
на Венере.
Скорее всего,
здесь когда-то
текла не вода,
а лава.

ния не только богинь и учёных, но и сказочных героинь: две равнины на планете названы в честь Бабы-яги и Снегурочки.

АТМОСФЕРА

Долгое время люди полагали, что Венера пригодна для жизни. Наличие плотной атмосферы, обнаруженной ещё в XVIII в., казалось бы, подтверждало эту гипотезу.

В XVIII в. люди практически ничего не знали о планетах Солнечной системы, и поэтому М. В. Ломоносов рассматривал наличие атмосферы на Венере как доказа-

тельство сходства этой планеты с Землёй. Но хотя Венеру и называют «сестрой Земли» из-за похожих размеров, силы тяжести и состава, однако условия на двух планетах и их поверхности отличаются довольно существенно.

Надеждам найти на Венере моря, леса, а возможно, и живые существа не суждено было сбыться. Открытия, сделанные в XX в., показали, что наша ближайшая соседка обладает суровым и отнюдь не гостеприимным нравом.

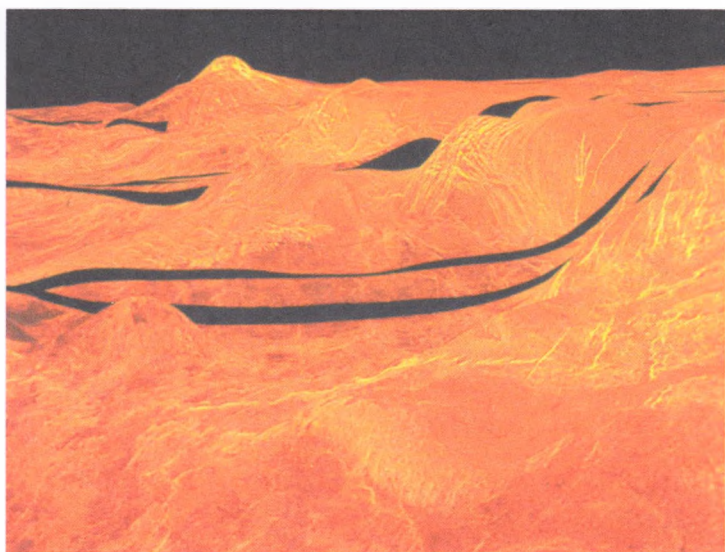
Ровно за четверть века до начала космической эры были получены первые сведения о составе венерианского воздуха. В 1932 г. американские

ОТКРЫТИЕ ВЕНЕРИАНСКОЙ АТМОСФЕРЫ

Первый серьёзный вклад в наши знания о Венере внёс великий русский учёный Михаил Васильевич Ломоносов. В 1761 г. наблюдалось редкое явление, характерное только для внутренних планет, — прохождение Венеры по диску Солнца. Каждые 243 года бывает всего четыре прохождения: два зимой и два летом. Событие, схожее с солнечным затмением, наступает только тогда, когда Венера находится точно между Солнцем и Землёй. Планета закрывает собой очень небольшую часть солнечного диска и в

виде маленького чёрного пятнышка перемещается по нему в течение нескольких часов.

Впервые прохождение Венеры наблюдал в 1639 г. английский астроном Джеремайя Хоррокс, а в 1761 г. это космическое явление с нетерпением ожидалось уже астрономами всего мира. Но только Ломоносов заметил и правильно истолковал интересный факт: при соприкосновении Венеры с диском Солнца вокруг планеты возникло «тонкое, как волос, сияние», которое Михаил Васильевич объяснил наличием у Венеры «знатной воздушной атмосферы», преломляющей солнечные лучи.



Долина Лакши на Венере.
(Тёмные полосы — дефект обработки изображения.)

астрономы убедительно доказали, что в нём присутствует углекислый газ. Вся остальная информация о газовой оболочке планеты добывалась уже с помощью космических аппаратов.

Оказалось, что из всех планет земной группы Венера обладает самой массивной газовой оболочкой: её атмосфера в почти в 100 раз массивнее земной. Венерианский воздух на 96,5 % состоит из углекислого газа

(CO_2) и на 3,5 % — из азота, а небо на Венере имеет яркий жёлто-зелёный оттенок. Такое большое количество CO_2 объясняется тем, что (в отличие от нашей планеты) на Венере нет растений или какой-нибудь другой органической жизни, которая могла бы его перерабатывать.

Древние извержения вулканов на Венере привели к тому, что в её атмосфере содержится большое количество серы, и венерианские облака в основном состоят из капелек концентрированной серной кислоты (H_2SO_4). Глубина облачного покрова в некоторых местах достигает 50 км. Помимо углекислого газа и азота в воздухе Венеры есть водяной пар, диоксид серы (SO_2), аргон, неон, гелий и криптон, соляная и плавиковая кислоты (HCl и HF), а также обнаруженные совсем недавно гидроксильные группы $-\text{OH}$, но их суммарное количество не превышает 0,1 %. Однако следует иметь в виду, что венерианская атмосфера намного мощнее нашей, поэтому азота в ней, например, по массе в 5 раз больше, чем в атмосфере Земли.

У самой поверхности атмосфера Венеры практически неподвижна, но на высотах порядка 60 км дуют постоянные ураганные ветры, скорость которых достигает 100 м/с и быстро уменьшается с увеличением высоты. Вращение облачного слоя происходит в ту же сторону, что и вращение планеты (с востока на запад), и ветер огибает её за 4—5 земных суток.

Верхняя граница воздушного слоя Венеры лежит на высоте 250 км, и давление у поверхности планеты превышает 90 атм. (как в толще моря на глубине около 1 км). Сочетание сверхвысокого давления и температуры приводит к тому, что основные компоненты венерианской атмосферы — углекислый газ и азот — пребывают в таком плотном состоянии, что почти не отличаются от жидкости. Получается, что Венера, покрытая такой атмосферой, превра-

БЫЛА ЛИ НА ВЕНЕРЕ ВОДА?

Исследование рельефа поверхности Венеры привело к возникновению гипотезы, согласно которой 2 млрд лет назад эта планета была покрыта океанами, подобными земным. Однако со временем атмосфера Венеры разогрелась так сильно, что вода полностью испарилась и оставила после себя пустынный пейзаж с множеством скал, похожих на плиты. Возможно, из-за отсутствия на Венере заметного магнитного поля образовавшийся водяной пар поднялся высоко над венерианской поверхностью и был унесён в межпланетное пространство солнечным ветром.

Подтвердить или опровергнуть гипотезу о существовании в прошлом водной среды на Венере поможет исследование её коры. Если удастся обнаружить минералы, образующиеся в условиях высокой температуры и избыточной влажности, то можно будет с уверенностью утверждать, что когда-то вода на Венере была.



тилась в огромный парник. Она пропускает 23 % солнечного излучения, которое нагревает поверхность планеты, однако тепловое инфракрасное излучение проникает сквозь атмосферное «одеяло» и покидает планету с большим трудом. В результате у поверхности Венеры скапли-

вается огромное количество тепла и независимо от широты местности температура атмосферы оказывается гораздо выше, чем в духовке. Только в горах, где толщина газовой оболочки меньше, температура венерианского воздуха понижается на несколько десятков градусов.

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

Земля как одна из планет Солнечной системы на первый взгляд ничем не примечательна. Это не самая большая, но и не самая малая из планет. Она не ближе других к Солнцу, но и не обитает на периферии планетной системы. И всё же Земля обладает одной уникальной особенностью — на ней есть жизнь. Однако при взгляде на Землю из космоса это незаметно. Хорошо видны облака, плавающие в атмосфере. Сквозь просветы в них различимы материки. Большая же часть Земли покрыта океанами.

Появление жизни, живого вещества — биосферы — на нашей планете явилось следствием её эволюции. В свою очередь биосфера оказала значительное влияние на весь дальнейший ход природных процессов. Так, не будь жизни на Земле, химический состав её атмосферы был бы совершенно иным.

Несомненно, всестороннее изучение Земли имеет громадное значение для человечества, но знания о ней служат также своеобразной отправной точкой при изучении остальных планет земной группы.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

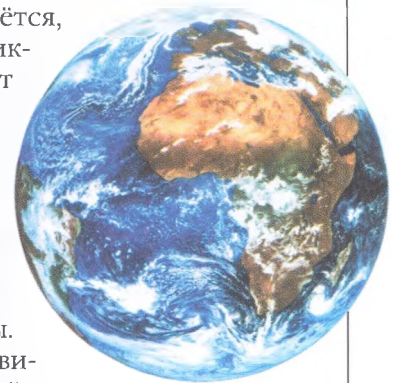
Непросто «заглянуть» в недра Земли. Даже самые глубокие скважины на суше едва преодолевают 10-километ-

ровый рубеж, а под водой удаётся, пройдя осадочный чехол, проникнуть в базальтовый фундамент не более чем на 1,5 км. Однако нашёлся другой способ. Как в медицине ультразвуковое исследование (УЗИ) позволяет увидеть внутренние органы человека, так при исследовании недр планеты на помощь приходят сейсмические волны. Скорость сейсмических волн зависит от плотности и упругих свойств горных пород, через которые они проходят. Более того, они отражаются от границ между пластами пород разного типа и преломляются на этих границах.

По записям колебаний земной поверхности при землетрясениях — сейсмограммам — было установлено, что недра Земли состоят из трёх основных частей: *коры*, оболочки (*мантии*) и *ядра*.

Кора отделяется от оболочки отчётливой границей, на которой скачкообразно возрастают скорости сейсмических волн, что вызвано резким повышением плотности вещества. Эта граница носит название *раздел Моховичича* (иначе — поверхность Мохо или раздел М) по фамилии сербского сейсмолога, открывшего её в 1909 г.

Толщина коры непостоянна, она изменяется от нескольких километров в океанических областях до



Вид Земли из космоса.



⊕ ЗЕМЛЯ

Диаметр	12 756 км
Масса	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг
Плотность	5510 кг/м ³
Период вращения	23 ч 56 мин 4,1 с
Среднее расстояние от Солнца	1 а. е. (149,6 млн км)
Период обращения	365,26 суток
Эксцентриситет орбиты	0,017



нескольких десятков километров в горных районах материков. В самых грубых моделях Земли кору представляют в виде однородного слоя толщиной порядка 35 км. Ниже, до глубины примерно 2900 км, расположена мантия. Она, как и земная кора, имеет сложное строение.

Ещё в XIX столетии стало ясно, что у Земли должно быть плотное ядро. Действительно, плотность наружных пород земной коры составляет около 2,8 г/м³ для гранитов и примерно 3 г/м³ для базальтов, а средняя плотность нашей планеты — 5,51 г/м³.

В то же время существуют железные метеориты со средней плотностью 7,85 г/м³ и возможна ещё более значительная концентрация железа. Это послужило основанием для гипотезы о железном ядре Земли. А в начале XX в. были получены первые сейсмологические свидетельства его существования.

Граница между ядром и мантией наиболее отчётливая. Она сильно отражает продольные (*P*) и поперечные (*S*) сейсмические волны и преломляет *P*-волны. Ниже этой границы скорость *P*-волн резко падает, а плотность вещества возрастает: от 5,6 г/м³ до 10 г/м³. *S*-волны ядро вообще не пропускает. Это означает, что вещество там находится в жидком состоянии.

Есть и другие свидетельства в пользу гипотезы о жидком железном ядре планеты. Так, открытое в 1905 г. изменение магнитного поля Земли в пространстве и по интенсивности привело к заключению, что оно зарождается в глубинах планеты. Там сравнительно быстрые движения могут происходить, не вызывая катастрофических последствий. Наи-



более вероятный источник такого поля — жидкое железное (т. е. проводящее токи) ядро, где возникают движения, действующие по механизму самовозбуждающегося динамо. В нём должны существовать токовые петли, грубо напоминающие витки провода в электромагните, которые и генерируют различные составляющие геомагнитного поля.

В 1930-х гг. сейсмологи установили, что у Земли есть и внутреннее, твёрдое ядро. Современное значение глубины границы между внутренним и внешним ядрами примерно 5150 км, переходная зона довольно тонкая — около 5 км.

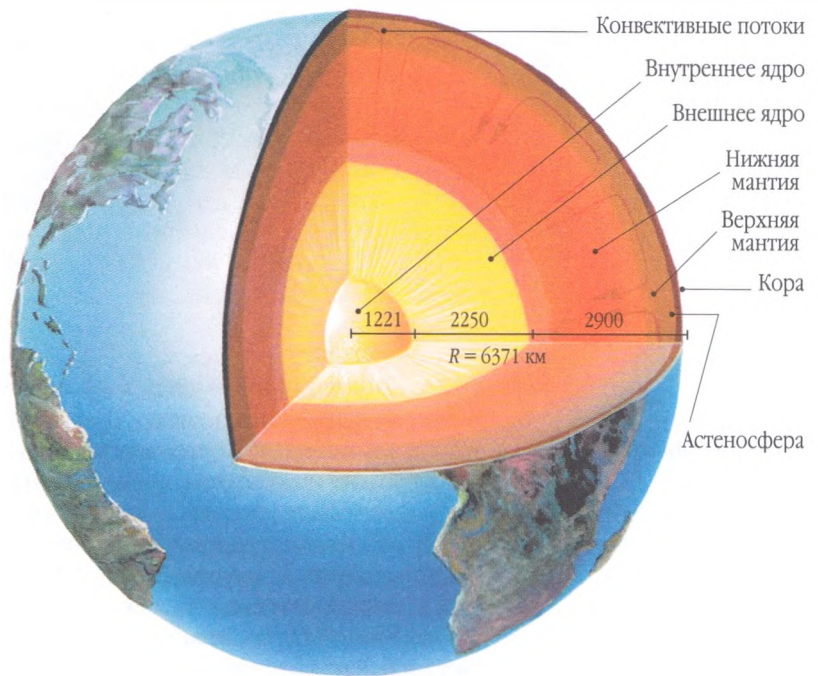
Граница наружной зоны Земли — *литосферы* — расположена на глубине порядка 70 км. Литосфера включает в себя как земную кору, так и часть верхней мантии. Этот жёсткий слой объединяется в единое целое его механическими свойствами. Литосфера расколота примерно на десять больших плит, на границах которых случается подавляющее число землетрясений.

Под литосферой на глубинах от 70 до 250 км существует слой повышенной текучести — так называемая *астеносфера* Земли. Жёсткие литосферные плиты плавают в «астеносферном океане».

В астеносфере температура мантийного вещества приближается к температуре его плавления. Чем глубже, тем выше давление и температура. В ядре Земли давление превышает 3600 кбар, а температура — 6000 °С.

ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ ПЛАНЕТЫ

О высокой температуре земных недр учёные догадывались давно. Об этом свидетельствовали и вулканические извержения, и рост температуры при погружении в глубокие шахты. В среднем у поверхности Земли её



увеличение составляет 20 °С на километр.

Тепловая энергия земных недр выделяется с поверхности планеты в виде *теплового потока*, который измеряется количеством тепла, выделяемого с единицы площади за единицу времени. Измерить тепловой поток Земли с достаточной точностью удалось только во второй половине XX в.

Континентальную земную кору условно можно представить в виде 15-километрового слоя гранита, лежащего на слое базальта такой же толщины. Концентрация радиоактивных изотопов, служащих источниками тепла, в гранитах и базальтах хорошо изучена. Это прежде всего радиоактивный калий, уран и торий. Подсчитано, что при их распаде выделяется около 130 Дж/(см² · год). В то же время средний тепловой поток, который ежегодно рассеивается с поверхности, равен 130—170 Дж/(см² · год). Следовательно, он почти полностью определяется тепловыделением в гранитном и базальтовом слоях.

Внутреннее строение Земли.



С океанической корой всё обстоит иначе. Она значительно тоньше континентальной, и основу её составляет 5—6-километровый базальтовый слой. Распад содержащихся в нём радиоактивных элементов даёт всего около 10 Дж/(см² · год). Однако когда в 1956 г. специалисты измерили тепловой поток на океанах, он оказался примерно таким же, как и на материках.

Сегодня установлено, что основная часть тепла поступает в океаническую кору через литосферную плиту из мантии. Вещество мантии постоянно находится в движении. Неравенство температур различных слоёв в ней приводит к активному перемешиванию вещества: более холодное и, соответственно, более плотное тонет, более горячее всплывает. Это так называемая тепловая конвекция.

Большинство современных исследователей указывают на три возможных источника энергии для поддержания тепловой конвекции в мантии. Во-первых, мантия всё ещё сохраняет большое количество тепла, накопленного в период формирования планеты. Его достаточно, чтобы поверхностный тепловой поток сохранялся на его теперешнем уровне в течение срока, в несколько раз превышающего нынешний возраст Земли. При этом планета должна остывать,

но её остывание происходит очень медленно. Во-вторых, определённое количество тепла, по-видимому, поставляется в мантию из ядра. И, наконец, третий источник — это распад радиоактивных элементов (их содержание в мантии в настоящее время трудно оценить).

ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ

Вопрос ранней эволюции Земли тесно связан с теорией её происхождения. Сегодня известно, что наша планета образовалась около 4,6 млрд лет назад. В процессе формирования Земли из частиц протопланетного облака постепенно увеличивалась её масса. Росла сила тяготения, а следовательно, и скорость частиц, падавших на планету. Кинетическая энергия частиц превращалась в тепло, и Земля всё сильнее разогревалась. При ударах на ней возникали кратеры, причём выбрасываемое из них вещество уже не могло преодолеть земное тяготение и падало обратно.

Чем крупнее были падавшие тела, тем сильнее они нагревали Землю. Энергия удара освобождалась не на поверхности, а на глубине, равной примерно двум поперечникам внедрившегося тела. А так как основная масса на этом этапе поставлялась планете телами размером в несколько сотен километров, то энергия выделялась в слое толщиной порядка 1000 км. Она не успевала излучиться в пространство, оставаясь в недрах Земли. В результате температура на глубинах 100—1000 км могла приблизиться к точке плавления. Дополнительное повышение температуры, вероятно, вызывал распад короткоживущих радиоактивных изотопов. По-видимому, первые возникшие расплавы представляли собой смесь жидких железа, никеля и серы. Расплав накапливался, а затем вследствие более высокой плотности просачивался

Рог Африки.
Снимок
из космоса.





вниз, постепенно формируя земное ядро. Таким образом, дифференциация (расслоение) вещества Земли могла начаться ещё на стадии её формирования. Ударная переработка поверхности, начавшаяся конвекция, несомненно, препятствовали этому процессу. Но определённая часть более тяжёлого вещества всё же успевала опуститься под перемешиваемый слой. В свою очередь дифференциация по плотности приостанавливала конвекцию и сопровождалась дополнительным выделением тепла, ускоряя процесс формирования различных зон в Земле.

Предположительно ядро образовалось за несколько сотен миллионов лет. При постепенном остывании планеты богатый никелем железоникелевый сплав, имеющий высокую температуру плавления, начал кристаллизоваться — так зародилось твёрдое внутреннее ядро. К настоящему времени оно составляет 1,7 % массы Земли. В расплавленном внешнем ядре сосредоточено около 30 % земной массы.

Развитие других оболочек продолжалось гораздо дольше и в некотором отношении не закончилось до сих пор.

Литосфера сразу после своего образования имела небольшую толщину и была очень неустойчивой. Она снова поглощалась мантией, разрушалась в эпоху так называемой великой бомбардировки (4,2—3,9 млрд лет назад), когда Земля, как и Луна, подвергалась ударам очень крупных и довольно многочисленных метеоритов. На Луне и сегодня можно увидеть свидетельства метеоритной бомбардировки — многочисленные кратеры и моря (области, заполненные излившейся магмой). На нашей планете активные тектонические процессы и воздействие атмосферы и гидросферы практически стёрли следы того периода.

Около 3,8 млрд лет назад сложилась первая лёгкая и, следовательно,



«непотопляемая» гранитная кора. В то время планета уже имела воздушную оболочку и океаны; необходимые для их образования газы усиленно поставлялись из недр Земли в предшествующий период. Атмосфера тогда состояла в основном из углекислого газа, азота и водяных паров. Кислорода в ней было мало, но он вырабатывался в результате, во-первых, фотохимической диссоциации воды и, во-вторых, фотосинтезирующей деятельности простых организмов, таких, как синезелёные водоросли.

600 млн лет назад на Земле было несколько подвижных континентальных плит, весьма похожих на современные. Новый суперматерик Пангея появился значительно позже. Он существовал 300—200 млн лет назад, а затем распался на части, которые и сформировали нынешние материки.

Что ждёт Землю в будущем? На этот вопрос можно попытаться ответить, не принимая во внимание как возможное внешнее, космическое влияние (которое трудно прогнозировать), так и деятельность человечества, преобразующего окружающую среду, причём не всегда в лучшую сторону.

В конце концов недр Земли остынут до такой степени, что конвекция в мантии и, следовательно, движение материков (а значит, и горообразование, извержения вулканов,

Лесные пожары. Снимок из космоса.



землетрясения) постепенно ослабнут и прекратятся. Выветривание со временем сотрёт неровности земной коры, и поверхность планеты скроется под водой. Дальнейшая её судьба будет определяться среднегодовой температурой. Если она значительно понизится, то океан замёрзнет и Земля покроется ледяной коркой. Ес-

ли же температура повысится (а скорее всего именно к этому и приведёт возрастающая светимость Солнца), то вода испарится, обнажив ровную поверхность планеты. Очевидно, ни в том, ни в другом случае жизнь человечества на Земле будет уже невозможна, по крайней мере, в нашем современном представлении о ней.

ЛУНА: ЦАРЯЩАЯ В НОЧИ



Вид Луны
в телескоп.

Луна — самый яркий объект на небе после Солнца, а ночью ей и вовсе нет равных среди светил. Это единственный естественный спутник Земли, а также первое и единственное в настоящий момент внеземное небесное тело, на котором побывал человек.

С давних времён люди делали попытки понять природу Луны, и первые научные знания о ней были получены задолго до появления телескопов. Уже древние греки понимали, что Луна — это шар, который обращается вокруг Земли и светит отражённым светом. В III в. до н. э. великий древнегреческий учёный Аристарх Самосский разработал научный метод определения расстояний до Солнца и Луны, а также их размеров. Традиция называть морями лунные зоны, которые хуже отражают солнечный свет, тоже пошла от древних греков: в тёмных областях лунного диска им виделись моря, а в светлых — суша, хотя теперь мы точно знаем, что ни озёр, ни морей на Луне нет.

ПОРАЗИТЕЛЬНЫЙ СПУТНИК

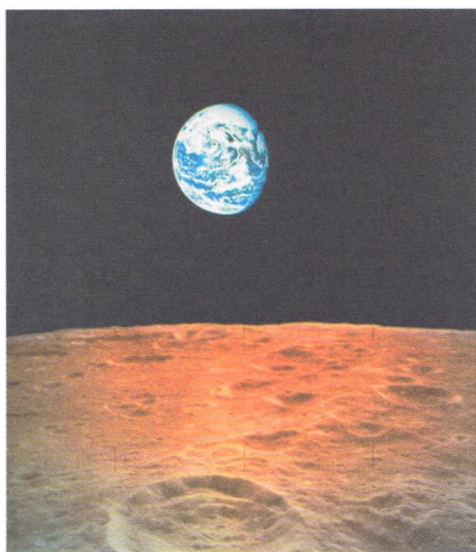
Пара Земля — Луна в Солнечной системе смотрится довольно странно. Луна — пятый по величине естест-

венный спутник в Солнечной системе, её масса всего в 81,3 раза меньше земной и равна $7,35 \cdot 10^{22}$ кг. Это необычайно высокое соотношение масс для спутника и планеты в Солнечной системе, выше только у пары Плутон — Харон, но Плутон — карликовая планета.

Возраст Луны практически совпадает с возрастом Земли и оценивается в 4,5 млрд. лет. Она движется вокруг Земли по слабо вытянутой эллиптической орбите, которая не лежит ни в экваториальной плоскости Земли, ни в плоскости земной орбиты — к ней она наклонена под углом $5,145^\circ$. В то же время лунная ось почти перпендикулярна плоскости орбиты Земли.

Среднее расстояние от Земли до Луны равно 384 404 км. Центр масс системы Земля — Луна расположен внутри Земли на расстоянии 4750 км от центра планеты, и это необходимо учитывать в точных расчётах. Кроме того, при рассмотрении движения небесных тел важную роль играет угловой момент — величина, зависящая от того, сколько массы вращается, как она распределена относительно оси вращения и с какой скоростью происходит это вращение.

Путь Луны вокруг Земли — не эллипс, а медленно раскручивающаяся спираль, о чём говорил ещё в начале XIX в. один из авторов «небулярной



гипотезы» происхождения Солнечной системы великий французский учёный Пьер Симон Лаплас. Луна удаляется от Земли со скоростью около 4 см в год, и в далёком про-

шлом она была гораздо ближе к нам, чем сейчас. Объясняется этот эффект взаимным притяжением Луны и Земли, которое тормозит вращение Земли, вызывает приливы и отливы

Земля на небе Луны выглядит не менее красиво, чем Луна на нашем небосклоне.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЛУНЫ

До недавнего времени было несколько теорий происхождения Луны. В соответствии с теорией, появившейся в XIX в., от полужидкой Земли вскоре после образования под действием солнечной гравитации отделился большой кусок, который впоследствии стал Луной.

В начале XX в. возникла теория, согласно которой земное тяготение захватило пролетавшее мимо небесное тело, которое и стало нашим спутником. Различные вариации этой модели просуществовали до 1990-х гг., но впоследствии было доказано, что «сценарий захвата» практически нереализуем вообще, а не только для пары Земля — Луна.

Наиболее правдоподобной оказалась модель, развитая из гипотезы Иммануила Канта. В 1755 г. в своём труде по космогонии он предположил, что все тела в Солнечной системе сформировались при сжатии пылевого облака, причём из одного и того же пылевого сгустка сначала образовалась Земля, а потом из оставшегося вещества — Луна. В 1960-х гг. модель такого «совместного формирования» выдвинули советские астрономы, а позд-

нее — американские планетологи. И хотя данные теории неплохо объясняют некоторые сходства и различия в химическом составе земных и лунных пород, но с их помощью трудно интерпретировать различия в плотности двух тел и характер лунной орбиты.

В последнее время предпочтение отдаётся принципиально новой модели, которая впервые была сформулирована в 1975 г. Уильямом Хартманом и Дональдом Дэвисом. Согласно ей, Луна возникла в результате удара, который нанесла по формирующейся Земле протопланета размером примерно с Марс. Этот произошедший почти по касательной удар раскрутил нашу планету и выбил из неё часть очень горячей мантии, с которой смешались обломки ударившего Землю небесного тела. Из этой «смеси» и образовалась протолуна.

Совсем недавно учёные сделали долгожданное открытие: в лунном грунте обнаружены молекулы воды и гидроксильные группы —ОН, и если удастся доказать их «земное» происхождение, то это будет ещё один аргумент в пользу теории гигантского столкновения.



☾ ЛУНА

Диаметр	3474 км
Масса	$7,35 \cdot 10^{22}$ кг
	0,012 М _Ю
Плотность	3340 кг/м ³
Период вращения	27,3 суток
Среднее расстояние от Земли	0,00257 а. е.
Период обращения	27,3 суток
Эксцентриситет орбиты	0,055
Наклон орбиты	5,15°



и синхронизирует вращение Луны вокруг своей оси с её обращением вокруг Земли. В результате лунный день приблизительно равен месяцу и составляет 27,32 земных суток, так что Луна всегда обращена к Земле одним своим полушарием.

Но видим мы не 50 % лунной поверхности, а немного больше — 59 %. Дело в том, что Луна вращается вокруг своей оси равномерно, а скорость её движения по эллиптической орбите меняется. Среднее значение равно 1,02 км/с, но в самой близкой к Земле точке своей орбиты Луна движется быстрее, а в самой далёкой — мед-

леннее, в результате чего спутник «приоткрывает» то один свой бок, то другой и позволяет нам заглянуть на обратную сторону. Данное явление, названное *оптической либрацией*, было открыто Галилео Галилеем в 1635 г.

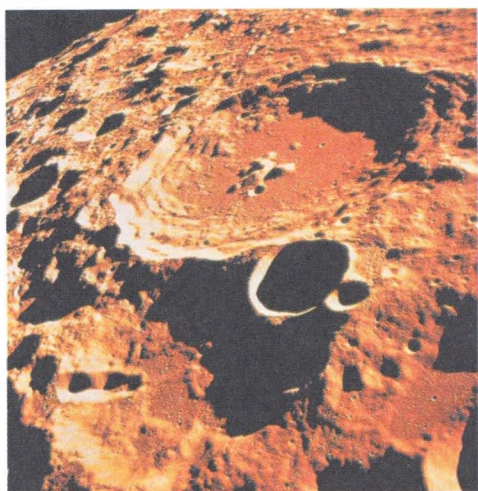
ЛУННЫЕ МОРЯ И ЗЕМЛИ

Лунная поверхность состоит из относительно ровных тёмных участков — «морей» и более светлых гористых участков — «материков» (или «земель»). Земли расположены выше морей и занимают 84 % лунной площади. Они покрыты характерными для Луны кольцевыми горами, погасшими вулканами, горными хребтами длиной в сотни и высотой 3—5 км, протяжёнными трещинами и бороздами, а также кратерами, образовавшимися в результате метеоритной бомбардировки. Поверхность лунных морей также покрыта метеоритными кратерами, но их число и размеры существенно меньше.

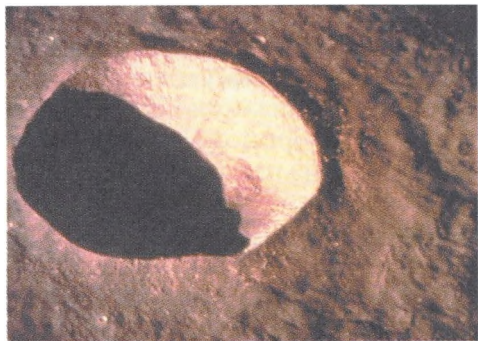
Моря представляют собой гигантские ударные кратеры, заполнен-



ные застывшей базальтовой лавой. Они сформировались при охлаждении прорвавшейся из глубин магмы и концентрируются на видимой стороне Луны, занимая 40 % её площади (на невидимой стороне их всего 3 %).



Французские астрономы изучили сравнительный возраст и распределение 48 лунных кратеров, образованных ударами астероидов. Они пришли к заключению, что миллиарды лет назад Луна была повернута к Земле стороной, которая сейчас является «обратной», и в то время она была лучше защищена от ударов



Молодой кратер на Луне. Изменение рельефа Луны происходит в основном за счёт метеоритной и микрометеоритной бомбардировки.

метеоритов. А в нынешнее положение Луну развернул произошедший 3,9 млрд лет назад удар крупного астероида, после которого на поверхности спутника осталось самое глубокое лунное море — Море Смирта.



◀ Северный полярный район Луны.

◀◀ Крупный кратер на Луне.

ЛУННЫЙ ГРУНТ

Почти вся поверхность Луны покрыта толстым слоем спёкшегося вещества — реголита, который представляет собой мелко раздробленные лунные породы, образующие как бы слежавшуюся губчатую массу. В районах морей толщина реголита колеблется в пределах от 4 до 8 м, а в материковых — от 4 до 12 м. Лунные породы дробились в основном за счёт резких перепадов температуры при смене дня и ночи, а также в результате множества ударов небольших метеоритов. Средний диаметр зёрен реголита менее 1 мм, но встречается и значительное количество обломков более крупного размера.

Реголит играет для Луны роль термостата: у него очень низкая теплопроводность, примерно в 10 раз меньшая, чем у воздуха, и поэтому уже на глубине порядка 1 м почти нет сильных колебаний температуры, характерных для лунной поверхности.



Лунный грунт поглощает больше 90 % солнечного света и сильно рассеивает всё, что не удалось поглотить. Рассеянный реголитом солнечный свет и образует характерное для Луны серебристое сияние.

Наличие реголита позволяет объяснить ещё одно интересное явление: яркость полной Луны превышает яркость «половинной» Луны в 11 раз, а не в два, как можно было бы ожидать. Получается, что отражательная способность лунного грунта резко возрастает, когда солнечные лучи падают на поверхность Луны практически вертикально. Это происходит из-за того, что частицы реголита покрыты множеством трещин, в которых теряется значительная часть падающего света, и поглощение минимально, если наблюдатель смотрит с той же стороны, с которой падает свет, — а это как раз и происходит в полнолуние.

Состав грунта в лунных морях и материках заметно различается, но в целом лунные породы состоят из силикатов и оксидов. Они по сравнению с Землёй бедны железом, водой и летучими компонентами — водородом, азотом, фтором и инертными газами. В то же время на Луне наблюдается избышек относительно тугоплавких элементов, таких, как титан, уран и торий.

АТМОСФЕРА

Из-за малой массы Луна не может удержать своим притяжением мощную атмосферу. Днём концентрация свободных частиц у поверхности несколько возрастает, так как лунный грунт при нагревании выделяет газ, но всё равно и дневная, и ночная концентрации соответствуют вакууму. Как следствие лунная поверхность не защищена от непосредственного воздействия солнечного электромагнитного излучения, ударов частиц

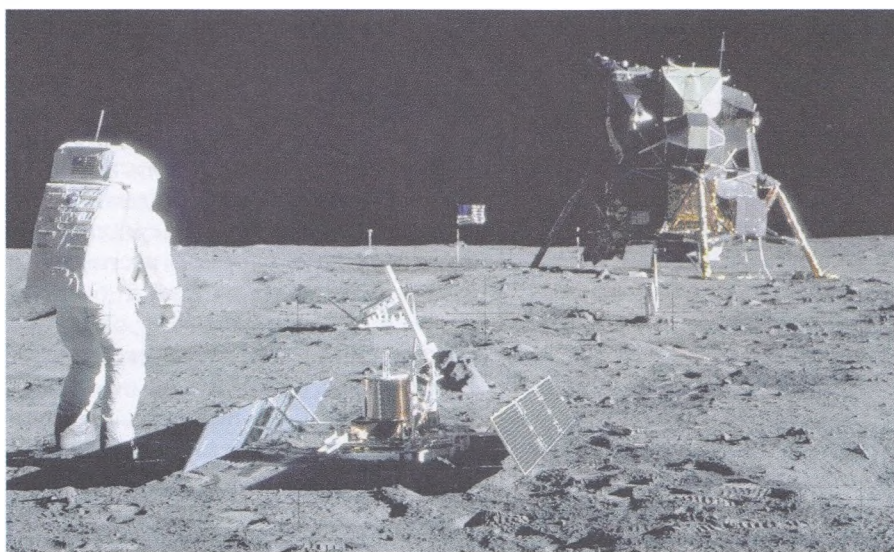
солнечного ветра и метеоритов, а также от резких перепадов температуры: днём она в среднем разогревается до 107 °С, а ночью охлаждается до –153 °С.

Небо над Луной чёрное и днём, и ночью, поскольку для образования хорошо знакомого нам небесно-голубого цвета необходим воздух, которого там нет. В отсутствие атмосферы над поверхностью Луны не дуют ветры и не выпадает никаких осадков, над ней лишь почти неподвижно висит огромный земной диск (он в 3,67 раза больше, чем видимый с Земли лунный диск). Луна освещается отражённым светом Земли приблизительно в 50 раз сильнее, чем Земля освещается Луной, а фазы Земли, видимые с Луны, противоположны фазам Луны, которые мы в это же время наблюдаем на Земле.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ

Форма Луны близка к шару радиусом 1738 км. Её внутреннее строение изучено с помощью космических аппаратов. Согласно сейсмическим данным, наш спутник состоит из коры, мантии и ядра. Толщина коры лежит в диапазоне от 50—60 км на стороне, обращённой к Земле, и доходит до 150 км на обратной. Такая разница образовалась под действием сил взаимного притяжения (тех самых, которые вынуждают Луну всё время поворачиваться к Земле одной и той же стороной). Лунная кора образована из продуктов плавления расположенной под ней мантии и приблизительно на 75 % состоит всего из трёх элементов — кислорода, кремния и алюминия.

Расположенную под корой мантию делят в зависимости от скорости прохождения сейсмических волн на три слоя: верхнюю (твёрдую), среднюю (частично расплавленную) и нижнюю (горячую и пластичную).



Астронавт Эдвин Олдрин устанавливает сейсмограф на Луне.

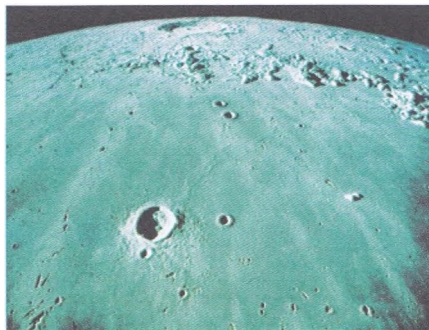
Вероятно, под мантией на глубине порядка 1500 км находится небольшое, 2—3 % от массы всего спутника, железное или железосернистое ядро, радиус которого не превышает 400 км. Для сравнения: у Земли на металлическое ядро приходится порядка 30 % её массы. Маленькое ядро может быть причиной низкой средней плотности Луны — $3,34 \text{ г/см}^3$. Такая плотность сравнима с плотностью земной мантии, которая ниже средней плотности всей Земли $5,51 \text{ г/см}^3$. Центр масс Луны из-за неоднородности структуры её недр смещён относительно геометрического центра на 3 км по направлению к Земле и (если смотреть с Земли) на 1 км влево (для наблюдателя в Северном полушарии).

ПРИРОДА ЛУННОГО МАГНЕТИЗМА

Собственное магнитное поле Луны очень слабое, оно не превышает $1/10\,000$ доли земного магнетизма и практически неразличимо на фоне межпланетного магнитного поля. Однако магнитометры, установленные на лунной поверхности, позволили

обнаружить остаточную намагниченность лунных пород (базальтов, реголита и др.), а также отдельные зоны магнитных аномалий.

Анализ камня, доставленного американскими астронавтами в 1970-х гг. с Луны на Землю, показал, что в прошлом он подвергался длительному воздействию магнитных полей высокой интенсивности. Радиоактивная датировка позволила установить, что это произошло примерно 4,2 млрд лет назад, через 300 млн лет после формирования Луны. В то время, вероятно, ядро у нашего спутника было жидкое и движение заряженных частиц в нём порождало мощное магнитное поле, аналогичное тому, которое имеется у Земли.



Кратер Тихо.



МАРС БЕЗ МАРСИАН

Ещё в глубокой древности люди обратили внимание на ярко-оранжевую звезду, которая время от времени проплывала по небосклону. Древние египтяне и жители Вавилона называли её просто Красной звездой. Пифагор предложил именовать её Пирей, что значит «пламенный». Древние греки, посвящавшие все планеты богам, не нашли более подходящего символа для бога войны Ареса, чем красноватое светило в чёрном небе. В римской мифологии Аресу соответствовал бог Марс. Так планета обрела своё нынешнее имя.

«Военные» ассоциации Марс вызывал у землян вплоть до середины XX в. Писатели-фантасты населяли Марс воинственными чудовищами или человекоподобными существами, стремящимися уничтожить землян. Однако реальность оказалась далеко не столь ужасающей. Какой же предстаёт перед нами Красная планета, породившая столько иллюзий?

Общий вид Марса с космического аппарата «Викинг». 1976 г.



МАРС КАК ПЛАНЕТА

Ориентация Марса в пространстве напоминает земную: плоскость экватора Красной планеты наклонена относительно плоскости его орбиты на 25° , т. е. всего на $1,5^\circ$ больше, чем плоскость земного экватора наклонена к плоскости эклиптики. В результате, перемещаясь по орбите, Марс поочерёдно подставляет Солнцу то южное, то северное полушарие. На нём, как и на Земле, происходит смена времён года, только тянутся они почти вдвое дольше — во столько раз марсианский год длиннее земного. А вот сутки на Марсе длятся примерно 24 ч 40 мин, т. е. лишь чуть дольше, чем на Земле.

Вследствие малой массы планеты сила тяжести на Марсе почти в три раза ниже, чем на Земле. В настоящее время структура гравитационного поля Марса детально изучена. Она указывает на небольшое отклонение от однородного распределения плотности в планете. Ядро может иметь радиус до половины радиуса планеты и частично или полностью пребывает в жидком состоянии. По-видимому, оно состоит почти из чистого железа или из сплава Fe—FeS (железо — сульфид железа). Выше ядра находятся силикатная мантия, обогащённая железом, и мощная кора толщиной 70—100 км. Цвет планеты определяют красные оксиды железа, присутствующие в поверхностных породах.

В настоящее время собственного магнитного поля у планеты нет, однако с борта космических аппаратов обнаружены места с сильной остаточной намагниченностью. Они, вероятно, являются реликтами далёкой эпохи, когда у Марса была мощная магнитосфера. На ту же эпоху пришлась и тектоническая активность Марса, возможно, как и на Земле,



связанная с наличием литосферных плит. Но всё это — в далёком прошлом, отстоящем от нас, вероятно, на 4 млрд лет. Современный Марс лишь медленно остывает, не обладая сколько-нибудь заметной сейсмической активностью. Сейсмограф на американском посадочном аппарате «Викинг-2» за год работы зафиксировал лишь один лёгкий толчок, и то, скорее всего, вызванный не тектоническими процессами, а падением крупного метеорита.

ПОВЕРХНОСТЬ МАРСА

С точки зрения топографии Марс в настоящее время — одно из наиболее изученных тел Солнечной системы. На первый взгляд поверхность Марса напоминает лунную, но на самом деле его рельеф отличается большим разнообразием. На протяжении долгой геологической истории Марса его поверхность изменяли извержения вулканов и марсотрясения. Глубокие шрамы на лице бога войны оставили метеориты, ветер, вода и льды.

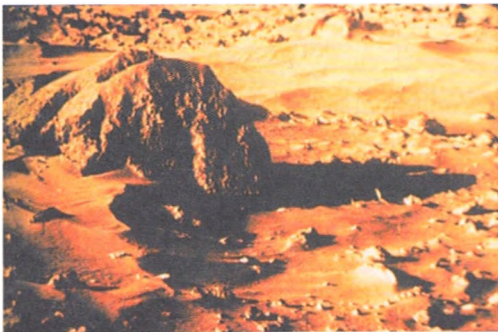
Основная черта марсианской «географии» — так называемая дихотомия полушарий. Поверхность планеты состоит как бы из двух контрастных частей: южное полушарие покрывают древние высокогорья, а в северных широтах сосредоточены более молодые равнины. Разница высот между горными и равнинными областями достигает 6 км. Почему

Долина Маринера — уникальная система каньонов на Марсе. Длина около 4000 км, ширина около 200 км, глубина около 5 км.



полушария Марса так сильно отличаются друг от друга, до сих пор неясно. Возможно, такое деление связано с давней катастрофой — падением на Марс крупного астероида.

Высокогорная часть сохранила следы активной метеоритной бомбардировки, происходившей около 4 млрд лет назад. Метеоритные кратеры покрывают 2/3 поверхности планеты. На старых высокогорьях их даже больше, чем на Луне. Но многие марсианские кратеры из-за выветривания успели «потерять форму». Некоторые из них, по всей видимости, когда-то были размыты потоками воды. На северных равнинах 4 млрд лет назад также было множество метеоритных кратеров. Но потом катастрофическое событие, о котором мы упоминали выше, стёрло их с 1/3 поверхности планеты, и её рельеф в



Панорама марсианской пустыни.

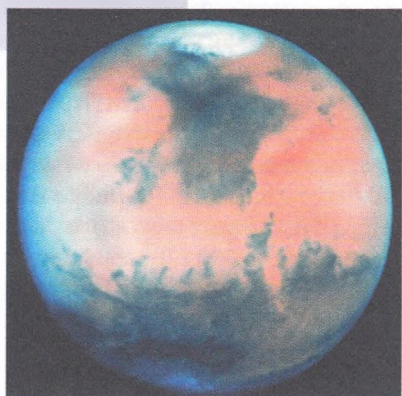
Большой камень в марсианской пустыне. Снимок с аппарата «Викинг», достигшего поверхности в этом районе.





♂ МАРС

Диаметр	6794 км
Масса	$6,42 \cdot 10^{23}$ кг
	0,11 М _Ю
Плотность	3930 кг/м ³
Период вращения	24 ч 37 мин
Среднее расстояние от Солнца	1,52 а. е.
Период обращения	686,98 суток
Эксцентриситет орбиты	0,093
Наклон орбиты	1,85°



Покрытый кратерами участок марсианской поверхности вблизи полярной шапки.

этой области начал формироваться заново. Отдельные метеориты падали туда и позже, но в целом ударных кратеров на севере мало.



Облик северного полушария в значительной степени определила вулканическая деятельность. Некоторые из равнин сплошь покрыты древними изверженными породами. Потоки жидкой лавы растекались по поверхности, застывали, по ним текли новые потоки. На окончаниях лавовых языков наблюдаются структуры, похожие на земные осадочные породы. Вероятно, когда раскалённые изверженные массы растапливали слои подземного льда, на поверхности Марса образовывались достаточно обширные водоёмы. Взаимодействие лавы и подземного льда привело также к появлению многочисленных борозд и трещин. На далёких от вулканов низменных областях северного полушария простираются песчаные дюны. Особенно много их около северной полярной шапки.

Обилие вулканических пейзажей свидетельствует о том, что в прошлом Марс пережил бурную геологическую эпоху, которая, скорее всего, закончилась около миллиарда лет назад. Наиболее активные процессы происходили в областях Элизий и Фарсида. В своё время они буквально были выдавлены из недр Марса и сейчас

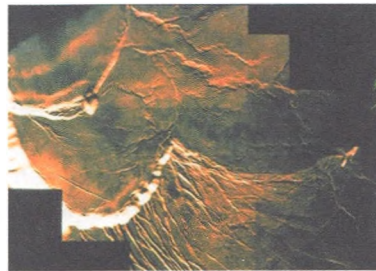


возвышаются над его поверхностью в виде грандиозных вздутий: Элизий высотой 5 км, Фарсида — 10 км. Вокруг этих вздутий сосредоточены многочисленные разломы, трещины, гребни — следы давних процессов в марсианской коре. Наиболее грандиозная система каньонов глубиной несколько километров — долина Маринера — начинается у гор Фарсида и тянется на 4 тыс. километров к востоку. В центральной части ширина долины достигает нескольких сотен километров. В прошлом, когда атмосфера Марса была более плотной, в каньоны могла стекать вода, создавая в них глубокие озёра.

Вулканы Марса — по земным меркам явления исключительные. Но даже среди них выделяется вулкан Олимп, расположенный на северо-западе гор Фарсида. Диаметр основания этой горы достигает 550 км, а её высота от подножия около 27 км. Олимп увенчан огромным, 60-километровым кратером. К востоку от самой высокой части гор Фарсида расположен другой крупный вулкан — Патера Альба. Хотя он не может соперничать с Олимпом по высоте, диаметр его основания почти в три раза больше.

Эти вулканические конусы возникли в результате спокойных излияний очень жидкой лавы, вероятно похожей по составу на лаву щитовых вулканов Гавайских островов. Следы вулканического пепла на склонах других гор позволяют предположить, что иногда на Марсе происходили и катастрофические извержения.

Рельеф полярных областей Марса формируется за счёт процессов, связанных с изменениями полярных шапок. От обоих полюсов на сотни километров к экватору тянутся нагромождения осадочных пород толщиной 4—6 км на севере и 1—2 км на юге. Их поверхность изрезана трещинами и обрывами. Трещины закручиваются вокруг полюсов: против часовой стрелки на северном полю-



▲ Гора Олимп высотой около 27 км. В центре — кальдера сложной структуры, что говорит о неоднократных извержениях в прошлом.

◀ Деталь кальдеры вулкана Олимп.



се и по часовой стрелке на южном. Нагромождения имеют слоистую структуру, что, вероятно, объясняется периодическими изменениями климата Марса.

Самая значительная загадка марсианского рельефа заключена в том, что в прошлом огромную роль в его формировании играла проточная вода. На первых снимках «Маринера-4» Марс предстал перед астрономами

Сравнительные размеры вулкана Олимп на Марсе и самых больших вершин на Земле.



пустынной и безводной планетой. Но когда поверхность планеты удалось сфотографировать с близкого расстояния, оказалось, что на старых высокогорьях часто встречаются словно бы оставленные текущей водой промоины. Некоторые из них выглядят так, будто много лет назад их пробили бурные, стремительные потоки. Тянутся они иногда на многие сотни километров. Часть этих колоссальных «ручьёв» обладает довольно почтенным возрастом. Другие долины очень похожи на русла спокойных земных рек. К ним подходят многочисленные притоки, вниз по течению ширина их увеличивается. Своим появлением они, вероятно, обязаны таянию подземного льда. Обнаружены на Марсе и овраги, причём некоторые из них выглядят очень молодыми. Наконец, непосредственные геологические измерения, проведённые с борта марсоходов, показали, что породы, из которых сложена поверхность Марса, в прошлом испытывали воздействие жидкой воды...

Иными словами, поверхность Марса местами выглядит так, словно у планеты была вполне «земная» гидросфера — с реками, родниками, озёрами и даже, может быть, с океаном, покрывавшим северные низины.

Почему эта гидросфера существовала и почему исчезла, совершенно неясно. В настоящее время воды на Марсе много, но вся она находится в замёрзшем состоянии — в полярных шапках и вечной мерзлоте. Низкое атмосферное давление исключает возможность существования жидкой воды на поверхности планеты. Вероятно, в прошлом по каким-то причинам в климате Марса произошла резкая перемена. Понять её причины нам очень важно, поскольку это поможет разобраться и в процессах, управляющих земным климатом.

АТМОСФЕРА И КЛИМАТ

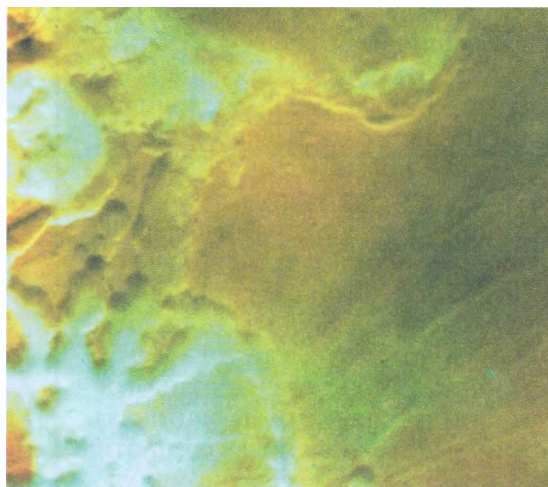
Атмосфера Марса существенно более разрежена, чем воздушная оболочка Земли. По составу она напоминает атмосферу Венеры и на 95 % состоит из углекислого газа. Около 4 % приходится на долю азота и аргона; кислорода и водяного пара в марсианской атмосфере меньше 1 %.

Средняя температура на Марсе значительно ниже, чем на Земле, — около -40°C . При наиболее благоприятных условиях — летним днём в районе экватора — воздух прогревается до 0°C — приемлемая температура для жителей Земли. Но зимней ночью мо-

Сухие русла на поверхности Марса. По-видимому, климат планеты в прошлом был иной и по ней текли водные потоки.



Утренние туманы в Лабиринте Ночи (система каньонов на Марсе).





ПЕРЕМЕНЧИВЫЙ МАРСИАНСКИЙ КЛИМАТ

Современный Марс — очень негостеприимный мир. Разреженная атмосфера, к тому же непригодная для дыхания, страшные пылевые бури, отсутствие жидкой воды и резкие перепады температуры в течение суток и года — всё это свидетельствует о том, что заселить Марс будет не так-то просто. Но ведь когда-то на нём текли реки! Значит ли это, что в прошлом на Марсе был другой климат?

Есть несколько фактов в поддержку этого утверждения. Во-первых, очень старые кратеры практически стёрты с лица Марса. Современная атмосфера не могла вызвать такой эрозии. Во-вторых, существуют многочисленные следы проточной воды, что также невозможно при нынешнем состоянии атмосферы. Изучение скорости образования и эрозии кратеров позволило установить, что сильнее всего ветер и вода разрушали их около 3,5 млрд лет назад. Приблизительно такой же возраст имеют и многие промоины.

К сожалению, сейчас не удаётся объяснить, что именно привело к таким серьёзным изменениям климата. Чтобы на Марсе могла существовать жидкая вода, его атмосфера должна была очень сильно отличаться от нынешней. Возможно, причина этого кроется в обильном выделении летучих элементов



Марс. Провал, образовавшийся при вытаивании подповерхностного льда.

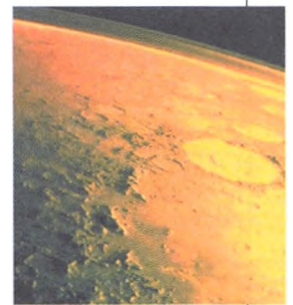
из недр планеты в первый миллиард лет её жизни или в изменении характера движения Марса. Из-за большого эксцентриситета и близости к планетам-гигантам орбита Марса, а также наклон оси вращения планеты могут испытывать сильные колебания, как короткопериодические, так и достаточно длительные. Эти изменения вызывают уменьшение или увеличение количества солнечной энергии, поглощаемой поверхностью Марса. В прошлом климат мог испытать сильное потепление, вследствие которого плотность атмосферы повысилась за счёт испарения полярных шапок и таяния подземных льдов.

роз может достигать -125°C . Такие резкие перепады температуры вызваны тем, что разреженная атмосфера Марса не способна долго удерживать тепло.

Над поверхностью планеты часто дуют сильные ветры, скорость которых доходит до 100 м/с. Малая сила тяжести позволяет даже разреженным потокам воздуха поднимать огромные облака пыли. Иногда довольно обширные области на Марсе бывают охвачены грандиозными пылевыми бурями. Чаще всего они возникают вблизи полярных шапок. Глобальная пылевая буря на Марсе помешала фотографированию поверхности с борта зонда «Маринер-9». Она бушевала с сентября 1971 по январь 1972 г., подняв в атмосферу на высоту более 10 км около миллиарда тонн пыли.

Водяной пар и углекислый газ в марсианской атмосфере часто собираются в облака. Наблюдения с космических аппаратов показали, что на Марсе встречается облачность самых разнообразных форм и видов: перистые, волнистые, подветренные облака (вблизи крупных гор и под склонами больших кратеров, в местах, защищённых от ветра). Над низинами (каньонами, долинами) и на дне кратеров в холодное время суток часто стоят туманы. Зимой 1979 г. в районе посадки «Викинга-2» выпал тонкий слой снега, который пролежал несколько месяцев.

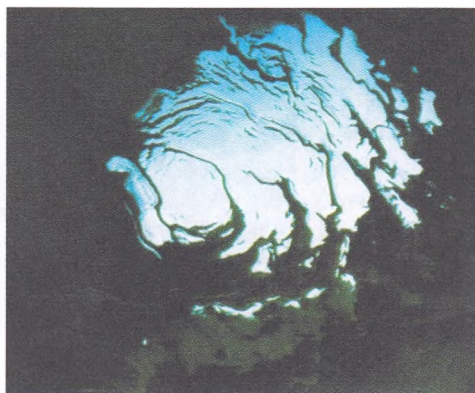
Смена времён года на Марсе происходит так же, как и на Земле. Ярче всего сезонные изменения проявляются в полярных областях. В зимнее время полярные шапки занимают



Перспективный снимок района Эллада на Марсе. Видно пылевое облако в атмосфере.



Полярная шапка Марса зимой. Она состоит в основном из твёрдой углекислоты, которая летом испарится, оставив небольшой участок настоящего водяного льда.



значительную площадь. Граница северной полярной шапки может удалиться от полюса на треть расстояния до экватора, а граница южной шапки преодолевает половину этого расстояния. Такая разница вызвана тем, что в северном полушарии зима наступает, когда Марс проходит через перигелий своей орбиты, а в южном — когда через афелий (т. е. в период максимального удаления от Солнца). Из-за этого зима в южном полушарии холоднее, чем в северном.

С наступлением весны полярная шапка начинает «съезживаться», оставляя за собой постепенно исчезающие островки льда. В то же время от полюсов к экватору распространяется так называемая волна потемнения. Современные теории объясняют её тем, что весенние ветры переносят вдоль меридианов большие массы грунта с различными отражательными свойствами.

До начала исследований Марса при помощи межпланетных зондов предполагалось, что его полярные области покрыты застывшей водой. Более точные современные наземные и космические измерения обнаружили в составе марсианского льда также замёрзший углекислый газ. Летом он испаряется и поступает в атмосферу. Ветры переносят его к противоположной полярной шапке, где он снова замерзает. Этим круговоротом углекислого газа и раз-

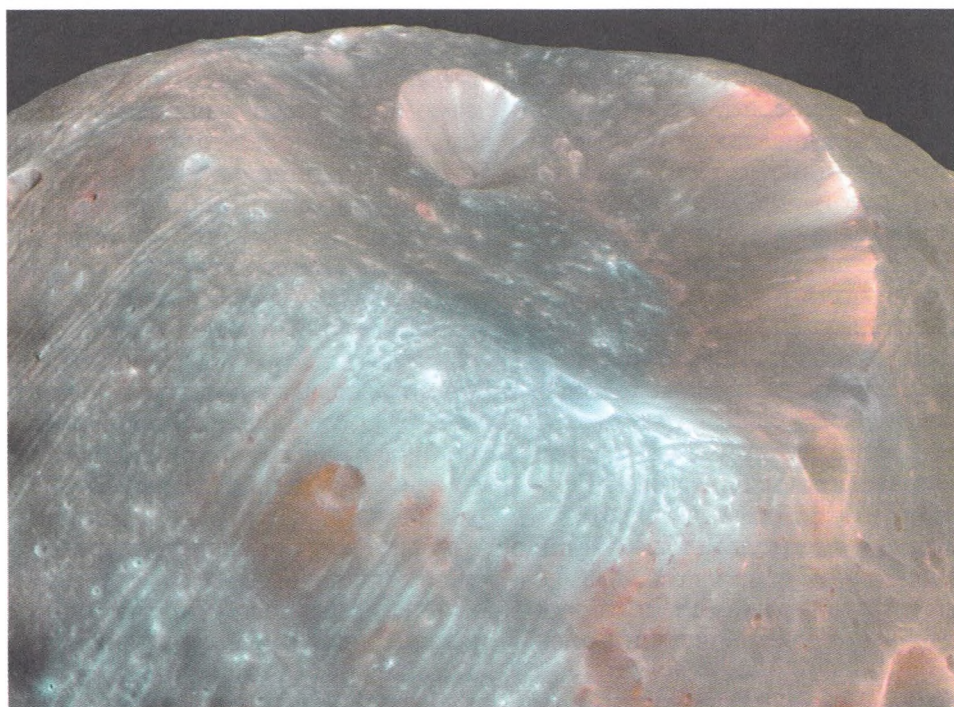
ными размерами полярных шапок объясняется непостоянство давления марсианской атмосферы. В целом у поверхности оно составляет приблизительно 0,006 давления земной атмосферы, но может подниматься и до 0,01.

СПУТНИКИ МАРСА

Марсианские луны обнаружил в 1877 г. американский астроном Асаф Холл. Чтобы поддержать традицию, учёный назвал их в честь спутников бога войны Фобоса и Деймоса, имена которых переводятся как «страх» и «ужас».

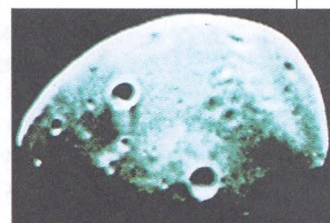
Фобос обращается вокруг Марса на расстоянии 9400 км от центра планеты, причём скорость его обращения столь велика, что один оборот он совершает за треть марсианских суток, обгоняя суточное вращение планеты. Из-за этого Фобос восходит на западе и опускается за горизонт на востоке. Деймос ведёт себя более привычно. Его удаление от центра планеты составляет более 23 тыс. км, и на один оборот у него уходит почти на сутки больше, чем у Фобоса. Сильное приливное трение, возникающее вследствие близкого расположения Фобоса к Марсу, затормаживает его, и спутник медленно приближается к поверхности планеты, чтобы в конце концов упасть на неё, если к тому времени гравитационное поле Марса не разорвёт его на куски.

По внешнему виду оба спутника похожи на продолговатые картофелины. Фобос имеет размеры $27 \times 22 \times 18$ км. Деймос меньше, его размеры $15 \times 12 \times 10$ км. Состоят они из одной и той же тёмной породы, похожей на вещество некоторых метеоритов и астероидов. Поверхность их изрыта метеоритными кратерами. Размеры крупнейшего кратера на Фобосе — Стикни — сравнимы с размерами



◀ Крупный кратер Стикни на спутнике Марса Фобосе.

Спутник Марса Деймос. Его размер всего лишь около 15 км.



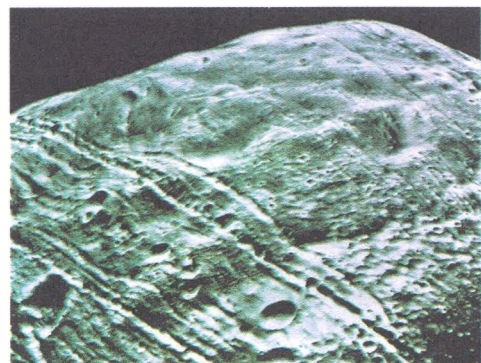
самого спутника. Удар, приведший к появлению такого кратера, вероятно, привёл и к образованию системы загадочных параллельных борозд. Они прослеживаются в длину на расстояния до 30 км и имеют ширину 100—200 м при глубине 10—20 м.

Оба спутника испытывают сильное приливное воздействие со стороны Марса, поэтому всегда повернуты к нему одной стороной. Фобос и Деймос движутся по почти круговым орбитам, лежащим в плоскости экватора планеты. Некоторые ис-

следователи считают, что спутники Марса попали к нему «не по своей воле», а были захвачены из пояса астероидов.

ЖИЗНЬ НА МАРСЕ

Для наблюдений с Земли Марс довольно неудобен. Минимальное расстояние между планетами достигается, когда Земля оказывается точно между Марсом и Солнцем. Такие моменты (они называются *противостояниями*) повторяются каждые 26 месяцев. Поскольку орбита Марса сильно вытянута, расстояние от него до Земли от противостояния заметно меняется. Если Марс попадает в противостояние с Землёй в афелии, расстояние между ними превышает 100 млн км. Если же противостояние происходит при наиболее благоприятных условиях, в перигелии марсианской орбиты, это расстояние уменьшается до 56 млн км. Такие «близкие»



◀ Борозды на Фобосе.



противостояния называются *великими* и повторяются через 15—17 лет. В эти моменты Марс по яркости приближается к Венере.

Но это не означает, что наблюдения Марса упрощаются! В моменты противостояний Солнце светит на Марс прямо из-за спины наблюдателя. В результате детали поверхности не отбрасывают тени и видны только благодаря различным цветам и яркости. Если же судить о предметах только по различию их яркости, то очень легко ошибиться. Доказательство тому — первая карта марсианской поверхности, составленная во время великого противостояния 1877 г. итальянским астрономом Джованни Скиапарелли. Этой картой учёный положил начало одной из наиболее устойчивых иллюзий астрономической науки.

По уже упомянутым причинам Скиапарелли мог различить только светлые и тёмные области марсианской поверхности. В этих пятнах ему привиделись бесчисленные тонкие линии, которые он назвал каналами, вовсе не имея при этом в виду их искусственное происхождение — по-итальянски *canali* означает «протоки». Сначала каналы никому, кроме Скиапарелли, разглядеть не удавалось. Но потом их увидел один наблюдатель, за ним — другой, и вскоре увлечение марсианскими каналами превратилось в «эпидемию». Особенно много на рубеже XIX—XX вв. исследования Марса занимался американский астроном Персиваль Ловелл, построивший для этого специальную обсерваторию во Флагстаффе (штат Аризона, США). Он выдвинул теорию, которая стала необычайно популярной. Каналы, говорил он, это искусственные ирригационные сооружения, жители Марса провели их для того, чтобы передавать воду в засушливые районы планеты. Ловелл понимал, что тонкие полоски, заметные с Земли,

в действительности имеют в ширину несколько сотен километров. То, что Скиапарелли называл каналами, на самом деле, утверждал Ловелл, полосы растительности, тянущиеся вдоль узких потоков воды, возможно даже заключённых в трубы.

Хотя в искусственное происхождение каналов верили немногие учёные, проблема существования растительной жизни на Марсе обсуждалась совершенно серьёзно. Возникла даже специальная наука — астроботаника, которая объясняла сезонные изменения в каналах и тёмных областях наличием растительности. Волна потемнения, распространяющаяся весной от полярной шапки к экватору, вызывается якобы пробуждением к жизни растительности. Она быстро расцветает, напитанная талой водой, а потом снова засыпает в ожидании следующей весны. Людям так хотелось в это верить, что все другие гипотезы просто отбрасывались. «Если это не растения, тогда что?» — спрашивали они. И действительно, казалось, что другого объяснения странному поведению тёмных областей и каналов найти невозможно.

И вот в 1965 г. «Маринер-4» передал на Землю первые фотографии Марса, сделанные с небольшого расстояния. Увы, на этих изображениях каналов не было! И все последующие зонды, как советские, так и американские, не обнаружили никаких признаков растительности или искусственных сооружений. Но люди продолжали надеяться. Если не растения, то, может быть, хотя бы бактерии?!

На спускаемых аппаратах «Викинг-1» и «Викинг-2» были запланированы специальные биологические эксперименты. Они основывались на предположении, что если на Марсе есть жизнь, то по своей химической природе она не может сильно отличаться от земной. Первый эксперимент был направлен на поиски следов фотосинтеза в марсианском



грунте; второй должен был выявить изменение химического состава грунта в процессе жизнедеятельности микроорганизмов; в третьем грунт помещали в питательный бульон и фиксировали изменения в нём. Все три эксперимента показали, что, скорее всего, даже микроорганизмы на Марсе отсутствуют. Хотя в последние годы появились предположения, что эксперименты на «Викингах» были поставлены неправильно и могли не только не выявить следы марсианской жизни, но даже погубить микроорганизмы во взятых пробах.

Более поздние анализы марсианской почвы, выполненные спускаемыми аппаратами и марсоходами в первом десятилетии XXI в., также дали противоречивые результаты. С одной стороны, общий состав грунта

на Марсе как будто благоприятен для существования жизни (как говорили исследователи, он был бы вполне на месте на земном огороде), с другой стороны, позже в его составе были обнаружены соединения хлора, а на Земле этот элемент ассоциируется скорее с уничтожением бактерий, чем с их процветанием...

Итак, историю поисков жизни на Марсе можно назвать историей разочарования. Человек с давних пор мечтал о встрече с братьями по разуму, и Марс представлялся наиболее вероятной родиной для них. Но современные наблюдения обошлись с этой мечтой крайне безжалостно. Впрочем, остаётся открытым вопрос о существовании жизни на Марсе в прошлом, при более благоприятных климатических условиях.

ЮПИТЕР: БОГ НЕБА, ЦАРЬ ПЛАНЕТ

Пятая от Солнца планета — Юпитер по массе и по размеру заметно превосходит всех своих «сестёр» по Солнечной системе. В отличие от Венеры, которая из-за близости к Солнцу появляется только на рассвете и на закате, сияющий ровным белым светом Юпитер бывает виден всю ночь. Если же обе планеты заметны на небе одновременно, то их можно различить по блеску: Венера несколько ярче. Из всех остальных планет только Марс способен достигать такого же блеска, как у Юпитера, но это бывает лишь в редкие дни его наибольших сближений с Землёй.

Царственный гигант уже тысячи лет назад пленял людей своим величием, поэтому планета вошла в мифы и религиозные верования многих культур. Древние вавилоняне именовали его Мулубаббар, т. е. «звезда-солнце», греки отождествляли с Зевсом — богом неба, грома и

молний, ведающим всем миром, а римляне называли эту величественную планету в честь своего верховного божества Юпитера — бога неба, грозы и дневного света.

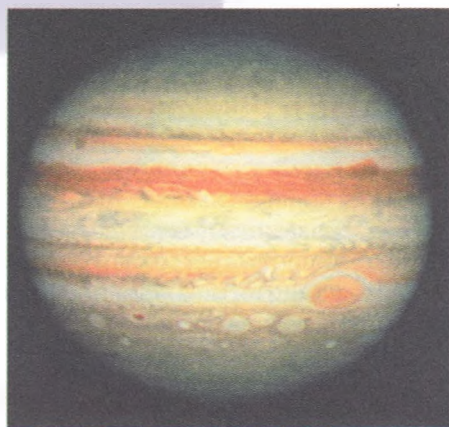
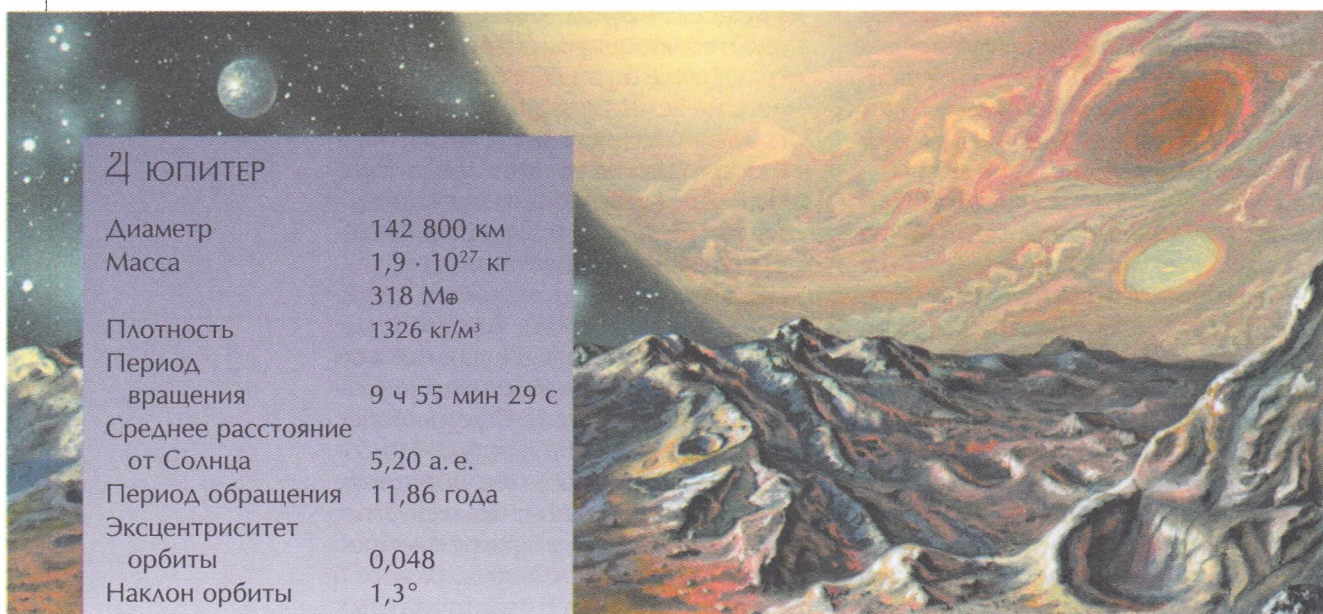
Вид Юпитера с космического аппарата «Вояджер». Видны спутники Европа и Ганимед.





4 ЮПИТЕР

Диаметр	142 800 км
Масса	$1,9 \cdot 10^{27}$ кг
	318 М _З
Плотность	1326 кг/м ³
Период вращения	9 ч 55 мин 29 с
Среднее расстояние от Солнца	5,20 а.е.
Период обращения	11,86 года
Эксцентриситет орбиты	0,048
Наклон орбиты	1,3°



УДИВИТЕЛЬНЫЙ ГИГАНТ

Юпитер и три другие огромные холодные планеты — Сатурн, Уран и Нептун — называют планетами-гигантами или газовыми гигантами, потому что они состоят в основном из водорода и гелия. Период вращения планет-гигантов не превышает 17 ч, причём у Юпитера он меньше, чем у остальных, и составляет 9 ч 55 мин, что даёт возможность увидеть всю планету за одну ночь. Ось вращения гиганта почти перпенди-

кулярна плоскости его орбиты, поэтому на Юпитере нет смены времён года.

В отличие от твёрдых планет земной группы, газовые гиганты вращаются неоднородно. У Юпитера скорость вращения на экваторе равна 45 300 км/ч и уменьшается при продвижении к полюсам. Из-за быстрого вращения наблюдается заметное сжатие планеты: полярный радиус меньше экваториального на 6,5 %, что составляет 4,6 тыс. км.

Среднее расстояние между царём планет и нашим светилом равно 778 млн км, он расположен от Солнца в пять с лишним раз дальше, чем Земля. Орбита газового гиганта вытянута, а разница между самым большим и самым маленьким удалением от Солнца составляет 75 млн км. Двигаясь по орбите со средней скоростью 13 км/с, Юпитер совершает один оборот за 11,86 года.

Интересно, что в Солнечной системе только у Юпитера центр масс системы Солнце — планета находится вне Солнца и удалён от последнего приблизительно на 7 % солнечного радиуса.



ЮПИТЕР — «НЕДОЗВЕЗДА»?

Юпитер — самая большая планета Солнечной системы, его масса составляет $2/3$ массы всех планет. Экваториальный радиус газового гиганта равен 71 492 км, что в 11,2 раза больше радиуса Земли, так что из него можно было бы сделать 1345 шаров объёмом с нашу планету. Но масса огромного Юпитера всего лишь в 318 раз превышает массу Земли и составляет $1,9 \times 10^{27}$ кг, а значит, вещество, из которого состоит гигант, совершенно не похоже на тяжёлые каменные породы, формирующие нашу планету.

Средняя плотность юпитерианского вещества сравнима с плотностью Солнца и равна $1,326 \text{ г/см}^3$, что несколько выше плотности воды и в 4 раза меньше средней плотности Земли. Получается, что планета-гигант не имеет твёрдой поверхности, а состоит преимущественно из газа. Масса Юпитера в 1000 раз меньше солнечной, но будь он раз в 60—80 массивнее, то вполне мог бы стать не планетой, а звездой.

Однако Юпитер и так ведёт себя не совсем «нормально» для планеты: известно, что он обладает собственным источником тепла и выделяет в 2—3 раза больше энергии, чем получает от Солнца. Точный механизм этого явления пока неизвестен, это может быть следствием как постепенного сжатия планеты или опускания гелия и более тяжёлых элементов, так и процессов радиоактивного распада в недрах гиганта.

СТРОЕНИЕ

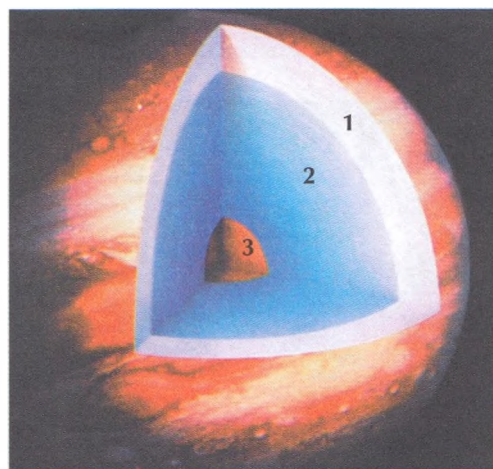
На сегодняшний день все наши знания о строении газовых гигантов носят косвенный характер. Юпитер по своим свойствам так непохож на Землю, что в его природе очень трудно разобраться, но одно можно утверждать наверняка: сверхмощная

атмосфера гиганта создаёт неимоверно большое давление, растущее к центру, и газы в столь экстремальных условиях находятся в необычных состояниях.

Предположительно у Юпитера есть тяжёлое ядро и оболочка. На твёрдое железосиликатное ядро приходится 3—4 % массы всей планеты. По меркам Юпитера совсем немного, но «небольшое» ядро гиганта весит как 10—15 планет Земля! Температура в центре ядра достигает значений порядка 20—25 тыс. градусов.

Выше ядра при температуре 11 тыс. градусов и давлении 3 млн атмосфер находится слой жидкого металлического водорода толщиной порядка 42 000 км. Это не жидкость и не газ, а необычная субстанция из протонов и электронов, способная проводить электрический ток, которая является источником сильного магнитного поля Юпитера.

Над слоем металлического водорода располагается слой жидкого молекулярного водорода и гелия толщиной 24 000 км. Он не имеет чётких границ и постепенно переходит в газообразную атмосферу.



Внутреннее строение Юпитера. У планеты нет твёрдой поверхности: на определённой глубине вещество атмосферы (1) переходит в особое, газожидкое состояние (2). В центре — твёрдое ядро (3).



ЧТО РАССКАЗАЛИ ОБЛАКА

Неудивительно, что такая выдающаяся планета, как Юпитер, обладает самой мощной атмосферой в Солнечной системе. Состав облачного покрова планеты-гиганта подобен составу всей планеты в целом, и он гораздо больше похож на солнечный, чем на нашу земную атмосферу. 75 % по массе приходится на водород, 24 % — на гелий, а 1 % — на примеси: метан (CH_4), водяной пар и аммиак (NH_3). Помимо этого, в юпитерианском воздухе имеются также следы органических соединений, этана (C_2H_6), сероводорода (H_2S), неона, кислорода, фосфина (PH_3) и серы. Не очень-то «приятный» состав, если вспомнить, что аммиак многим знаком по резкому запаху нашатырного спирта, сероводород — по запаху тухлых яиц, а фосфин пахнет тухлой рыбой...

На любой фотографии Юпитера видно, что его поверхность покрыта чередующимися тёмными и светлыми полосами правильной формы, которые со временем меняют своё расположение. Понятно, что моря и горы не могут свободно «разъезжать» по планете, а это значит, что мы видим лишь длинные ряды туч

Падение
на Юпитер части
ядра кометы
Шумейкеров —
Леви 9. 1994 г.



и облаков, т. е. Юпитер, как и Венера, надёжно скрывает свои недра от любопытных взоров под толстой газовой оболочкой. Эта оболочка непрозрачна настолько, что её нижние слои, которые плавно переходят в океан жидкого водорода, увидеть невозможно. В то же время, у её верхних слоёв, как и на Земле, нет чёткой границы: плотность атмосферы постепенно уменьшается, и она растворяется в межпланетном пространстве.

В отличие от Венеры, у которой «воздушное одеяло» выглядит ровным и гладким, покров Юпитера разноцветный, пятнистый и изменчивый. Все образующиеся на поверхности пятна и структуры постепенно передвигаются от одного края диска к другому, и это передвижение не только свидетельствует о том, что Юпитер вращается вокруг своей оси, но и позволяет определить скорость его вращения.

Полосы облачной структуры появляются из-за того, что вдоль параллелей на планете дуют ураганные ветры, скорость которых может достигать 500 км/ч, причём в смежных полосах потоки ветра направлены в противоположные стороны. Изучение атмосферы показало, что ветры дуют не только в поверхностных слоях, но на глубинах до 1000 км. Скорее всего, они управляются не энергией излучения Солнца, как на Земле, а внутренним теплом гиганта. Тепловые потоки в глубоких слоях атмосферы (наряду с быстрым вращением Юпитера) также могут быть причиной того, что по мере приближения к полюсам регулярная структура облачного узора разрушается и он становится всё более клочковатым и пятнистым.

Цвета облаков, находящихся на разных высотах, различны. В самом нижнем слое находятся синеватые облака, чуть выше — коричневые, над ними — светлые зоны, которые



БОЛЬШОЕ КРАСНОЕ ПЯТНО И ДРУГИЕ ВИХРИ

В 1665 г. Джованни Кассини обнаружил в южном полушарии Юпитера Большое Красное Пятно. До полётов американских космических аппаратов «Вояджер» некоторые полагали, что пятно — это некое твёрдое образование, но теперь мы знаем, что это область высокого давления в атмосфере, гигантский вихрь, размеры которого существенно больше Земли.

Похожие образования обнаружены и на других планетах-гигантах, но Большое Красное Пятно — самый крупный ураган в Солнечной системе. Оно расположено на 8 км выше верхнего слоя облаков и вращается против часовой стрелки, совершая один оборот за шесть земных суток, а скорость ветра внутри него порядка 500 км/ч.

Размеры Пятна постоянно меняются, в длину оно занимает 24–40 тыс. км, а в ширину — 12–14 тыс. км, но в целом пятно уменьшается: из записей российского и советского астронома Аристарха Аполлоновича Белопольского следует, что в 1880 г. Большое Красное Пятно было в два раза больше и заметно ярче, чем сейчас.

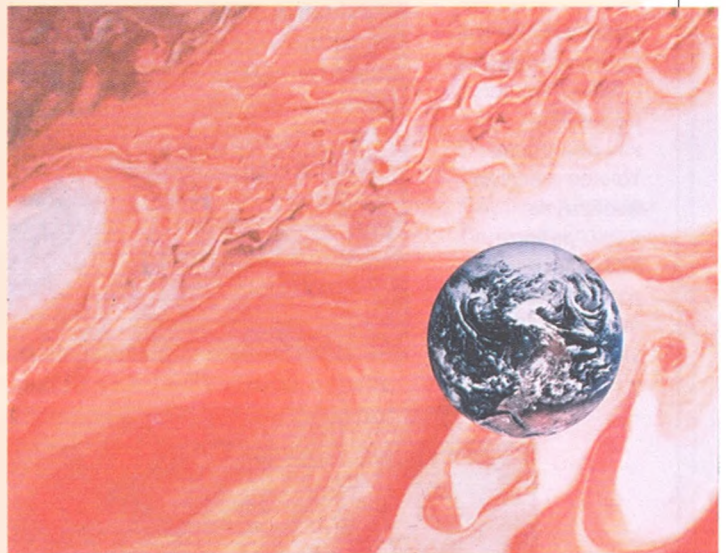
На Юпитере помимо Большого Красного Пятна в южном и северном полушариях периодически образуются другие красные, белые и коричневые «овалы-ураганы», только меньшие по размеру. А так как скорости течений юпитерианской атмосферы различны, то иногда эти ураганы сталкиваются между собой, и одно из таких столкновений наблюдалось в 1975 г.

До настоящего времени все устойчивые атмосферные образования, существующие десятки лет, наблюдались только в южном полушарии Юпитера.

Большое Красное Пятно.
Изображение Земли дано для масштаба.



Вид Юпитера с Большим Красным Пятном. Это устойчивое атмосферное образование наблюдается уже более 300 лет.



обязаны своим цветом ярко-белым кристаллам аммиачного льда, а самые высокие облака имеют красный цвет. Светлым и красным зонам соответствуют более холодные восходящие течения. Из-за огромного удаления от «источника подогрева» — Солнца

температура поверхностного слоя юпитерианских облаков опускается ниже -140°C .

Исследования атмосферы Юпитера показали, что все процессы, происходящие в ней, подобны тем, которые мы наблюдаем в земной ат-



мосфере, только гораздо более масштабные. «Нрав» у гиганта суровый: в его атмосфере всегда идут грозы и бушуют сильные штормы, а молнии, сверкающие там, в тысячи раз мощнее земных. Выходит, что древние люди не ошиблись, давая планете имя бога — повелителя молний и гроз!

КОЛЬЦА И СПУТНИКИ

В 1979 г. «Вояджер» обнаружил у Юпитера систему колец радиусом 129 000 км и толщиной порядка 30 км. В отличие от колец Сатурна у Юпитера они тёмные и слабо различимы, они не содержат льда и состоят в основном из пыли и мелких каменных частиц, которые плохо отражают солнечные лучи. Всего колец три: два основных и одно очень тонкое внутреннее, характерного оранжевого цвета. Все они очень разреженные и расположены в плоскости экватора на высоте порядка 55 000 км над атмосферой, поэтому с Земли их можно наблюдать только в инфракрасном диапазоне. Изучение колец Юпитера показало, что источником их пополнения являются небольшие спутники планеты-гиганта.

Естественных спутников у Юпитера к 2010 г. известно 63, больше, чем у любой другой планеты Солнечной системы. Наземными методами к концу 1970-х гг. было откры-

то 13 юпитерианских лун, в 1979 г. космический аппарат «Вояджер-1» обнаружил ещё 3, а начиная с 1999 г. при помощи наземных телескопов нового поколения были открыты остальные 47 спутников, причём большинство из них — это небольшие скалистые тела неправильной формы диаметром 2—4 км. Некоторые из малых спутников Юпитера движутся почти по одинаковым орбитам, так что они вполне могут быть остатками более крупных лун, разрушенных тяготением планеты-гиганта.

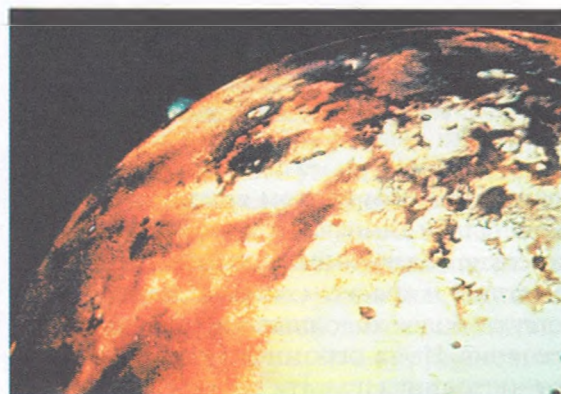
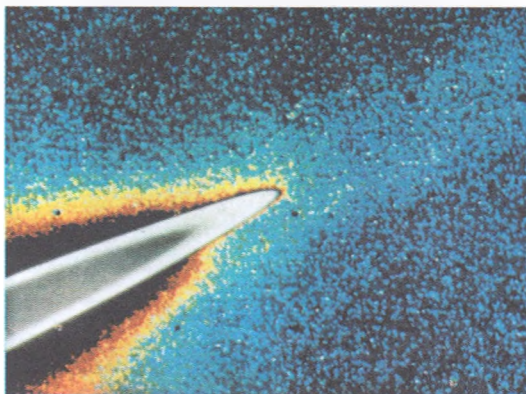
Граница орбит спутников определяется областью гравитационного притяжения планеты и удалена от неё на расстояние 52 млн км. Внешние, наиболее удалённые от Юпитера спутники нельзя увидеть с поверхности планеты невооружённым глазом, а с самого далёкого из них газовый гигант выглядит меньше, чем Луна на нашем небе. Далёкие от планеты спутники обращаются вокруг неё в разных направлениях и вполне могут быть астероидами, захваченными гравитационным полем Юпитера.

Четыре самых крупных спутника Юпитера — Ио, Европа, Ганимед и Калисто были открыты Галилео Галилеем в 1610 г., поэтому впоследствии их стали называть галилеевыми. Все они движутся почти по круговым орбитам в плоскости экватора планеты. Силы приливного

Спутник Юпитера Ио. Это самое вулканически активное тело Солнечной системы.



Кольцо Юпитера. При наблюдениях с Земли кольцо не заметно, так как оно очень тонкое и всегда повернуто к нам ребром. Контрастность изображения сильно увеличена.





СЕМЬЯ ЮПИТЕРА НА СЛУЖБЕ НАУКЕ

Юпитер оставил свой след не только в мифах и религиях разных народов, но и в истории науки. Открытие галилеевых спутников — одно из первых, совершённых с помощью телескопа. Кроме того, Юпитер со спутниками так сильно напоминал Солнечную систему, что это сыграло определённую роль в формировании гелиоцентрической картины мира.

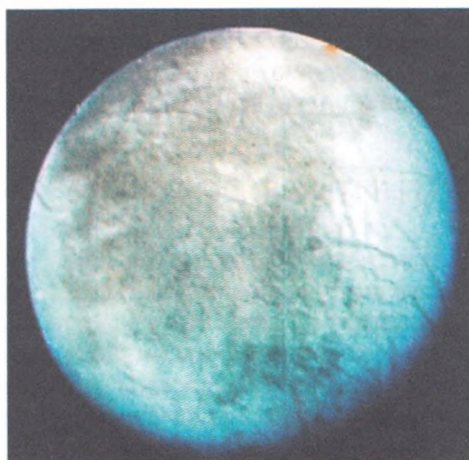
В конце XVII в. с помощью Юпитера было сделано ещё одно важное научное открытие: измерена скорость света. Определил её молодой датский астроном Оле Рёмер, который работал в то время в Парижской обсерватории под началом итальянского и французского астронома и инженера Джованни Кассини. Научная работа Рёмера основывалась на наблюдениях затме-

ний спутника Юпитера Ио, произведённых им и Кассини. Первый отчёт Рёмера, сделанный им 22 ноября 1675 г., был встречен учёными с недоверием, так как большинство из них были уверены, что свет распространяется мгновенно. И лишь спустя полвека идея о конечности скорости света утвердилась в науке.

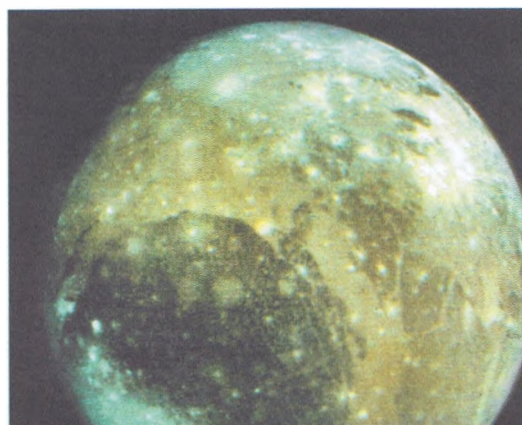
Спутники Юпитера оказались полезны и в сугубо земных делах. Используя метод Галилея по определению долготы, основанный на наблюдениях затмений спутников Юпитера, Джованни Кассини в 1681 г. впервые точно измерил территорию Франции. Полученные размеры страны оказались меньше, чем ожидал король Людовик XIV. По этому поводу он в 1693 г. заметил: «Никакое военное поражение не сравнится с теми потерями, которые причинило мне усердие моих географов».

взаимодействия с планетой оказывают на них такое же влияние, как и на Луну с Землёй: вращение Юпитера постепенно замедляется, а спутники медленно удаляются от него, синхронизируя своё вращение с гигантом и постоянно обращаясь к нему одной и той же стороной.

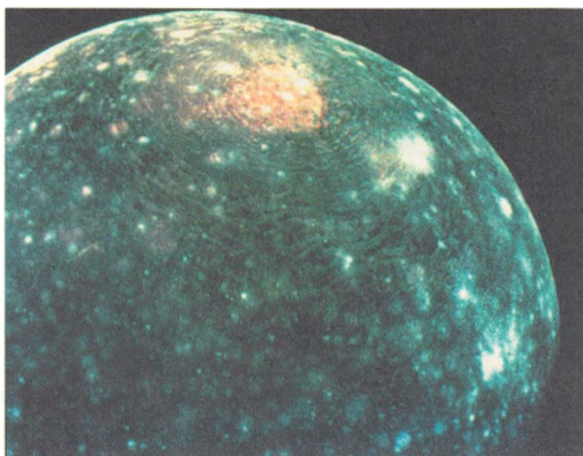
Каждый из галилеевых спутников по-своему примечателен. На Ио обнаружено большое количество вулканов, действующих и потухших. Выбросы диоксида серы при извержении достигают высоты 300 км, при этом основная часть газа замерзает на поверхности спутника, но некоторое его количество улетает в космос и образует кольцо, опоясывающее Юпитер. Кроме того, Ио обладает атмосферой, которая плотнее атмосферы Меркурия, хотя и в 10 млн раз разреженнее земной. Европа покрыта водяным льдом, и вполне возможно, что под коркой толщиной 100 км существует тёплый океан, солёность которого близка к солёности земных океанов. Некоторые учёные даже надеются когда-нибудь обнаружить в подлёдном океане Европы примитивные формы жизни. Ганимед — самый



Спутник Юпитера Европа. Её поверхность покрыта растрескавшейся ледяной корой.



Спутник Юпитера Ганимед. Его кора состоит из смеси льда и тёмных горных пород.



Спутник Юпитера Каллисто. Здесь больше кратеров, чем на любом другом теле Солнечной системы.

большой спутник Юпитера и вообще в Солнечной системе. Его радиус равен 2634 км, так что по размеру он превосходит Луну и даже Меркурий. А Каллисто с радиусом 2408 км тоже близка по размеру к Меркурию и является третьим по величине спутником в Солнечной системе после Ганимеда и спутника Сатурна Титана.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Юпитер быстро вращается, поэтому находящийся в его недрах хороший проводник — металлический водород создаёт мощное магнитное поле, напряжённость которого у поверхности планеты в 20 раз больше, чем напряжённость магнитного поля у

поверхности Земли. Северный магнитный полюс расположен на южном географическом полюсе Юпитера, а южный магнитный полюс — на северном, причём магнитная ось наклонена к оси вращения планеты на 10° .

Магнитное поле Юпитера захватывает заряженные частицы солнечного ветра, которые удерживаются и накапливаются в окрестностях планеты, образуя зоны интенсивной радиации. Дозы облучения, которые там можно получить, в десятки раз превышают смертельные для человека.

На дневной стороне магнитное поле Юпитера тянется на расстояние 50—100 радиусов планеты, а на ночной распространяется за орбиту Сатурна, причём ускоренные магнитным полем Юпитера электроны достигают Земли. Область, в которой заключено магнитное поле планеты-гиганта, очень велика. Если бы мы могли её видеть, то на небе она была бы размером с Луну.

На Юпитере наблюдаются мощные полярные сияния, однако в отличие от земных солнечный ветер не играет большой роли в их создании. С магнитным полем газового гиганта взаимодействуют частицы, выброшенные вулканами Ио. Именно поэтому полярные сияния Юпитера самые интенсивные во всей Солнечной системе, они действуют почти всегда и не зависят от активности Солнца.

САТУРН: ВЛАСТЕЛИН КОЛЕЦ

Шестая от Солнца планета, Сатурн, была названа в честь одного из самых почитаемых древнеримских богов, которому в греческой мифологии соответствует бог Кронос, а у вавилонян — Нинурта. Первоначально он считался богом земли и посевов (satus по-латыни — «посев»), а впоследствии стал богом времени. С его именем

древние люди связывали представления об изобилии и вечном мире, отсутствии рабства и собственности.

Хотя Сатурн и не относится к наиболее ярким объектам звёздного неба, его медленно перемещающийся по ночному небосклону желтоватый немерцающий диск хорошо виден невооружённым глазом. Поэтому



люди наблюдали Сатурн с давних времён и считали его самой далёкой планетой.

ПЛАВУЧИЙ ГИГАНТ

Сатурн состоит в основном из газов и не имеет твёрдой поверхности, поэтому его наряду с Юпитером, Ураном и Нептуном относят к газовым гигантам. Как и большинство планет, Сатурн вращается с запада на восток, причём скорости вращения на разных широтах различны: в приэкваториальных областях один оборот вокруг оси занимает 10 ч 34 мин 13 с, а в приполярных — приблизительно на 26 мин больше.

Год на Сатурне длится 10 759 земных суток (около 29,5 года) — за такое время планета, двигаясь со скоростью 9,7 км/с, делает один полный оборот вокруг Солнца. Ось вращения Сатурна наклонена к его орбите под углом 26,7°, поэтому на нём наблюдается смена времён года.

Орбита Сатурна наклонена к эклиптике под углом 2° 29', её большая полуось равна 1,43 млрд км, т. е. Сатурн расположен почти в 10 раз дальше от Солнца, чем Земля и поэтому получает в 90 раз меньше солнечного тепла, чем наша планета. Орбита гиганта близка к круговой, но из-за её огромных размеров разность максимального и минимального расстояний от планеты до Солнца составляет порядка 160 млн км.

По размеру Сатурн занимает второе место в Солнечной системе после Юпитера, его экваториальный радиус равен 60 268 км, а полярный — 54 364 км. Гигант обладает наибольшим сжатием среди планет Солнечной системы.

Масса Сатурна в 95,2 раза превышает массу Земли и равна $5,6846 \times 10^{26}$ кг. Казалось бы, это очень большая величина. Но так как объём планеты — $8,2713 \cdot 10^{14}$ км³ — больше



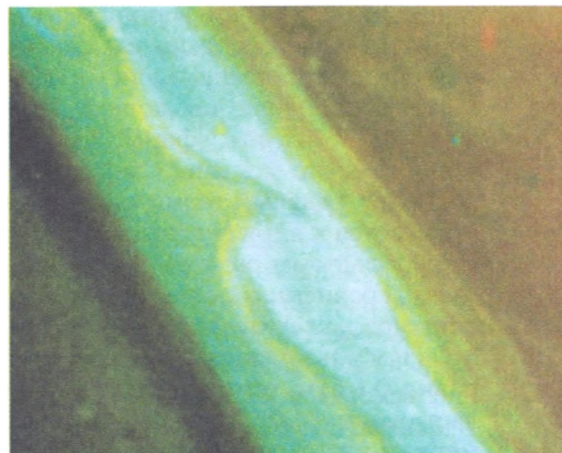
объёма Земли в 800 раз, то получается, что средняя плотность Сатурна составляет всего 0,69 г/см³! Этот газовый гигант — единственная планета Солнечной системы, чья средняя плотность меньше плотности воды (которая равна 1 г/см³ при 4 °С). А это значит, что, найдись во Вселенной гигантская ванна с водой или подходящего размера океан, Сатурн плавал бы в нём и не тонул!

Сатурн. Снимок космического телескопа «Хаббл».

ПЛАНЕТА СИЛЬНЫХ УРАГАНОВ

Верхние слои непрозрачной, очень плотной атмосферы Сатурна приблизительно на 93 % по объёму состоят из водорода и на 7 % — из гелия (у Юпитера гелия 11 %). На примеси

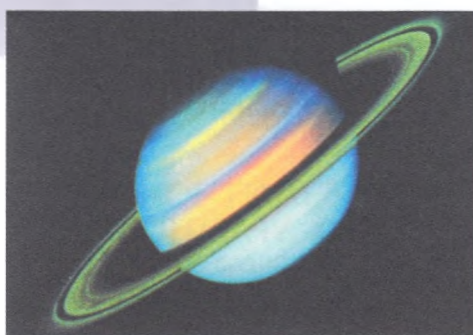
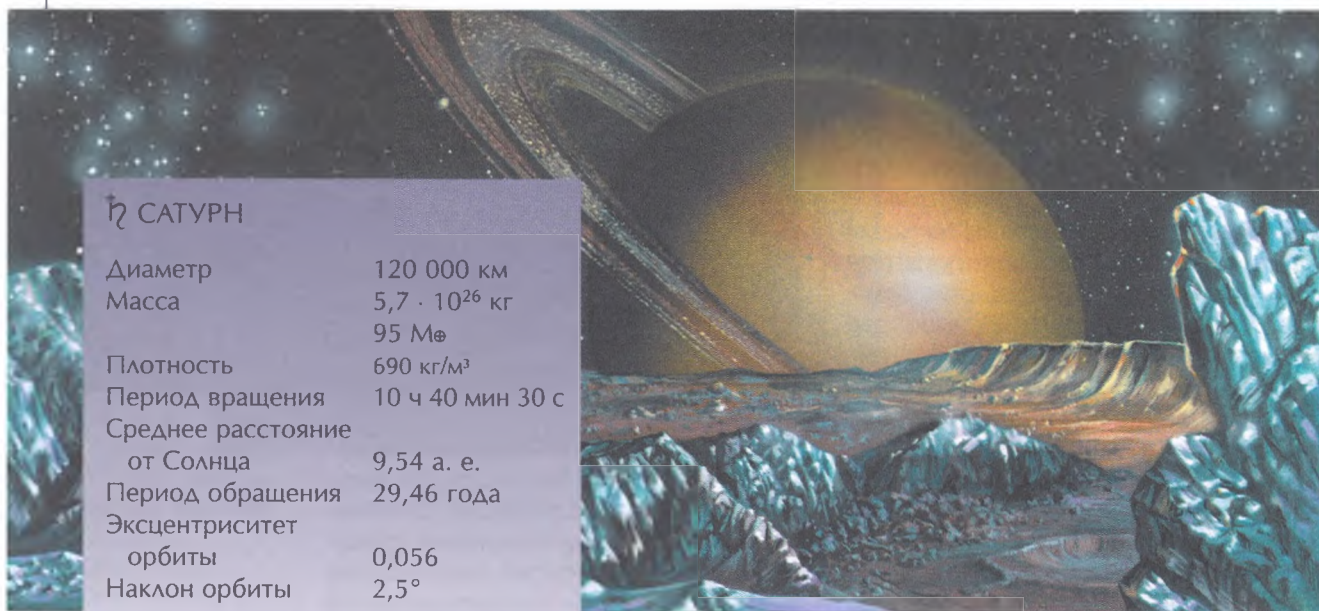
Вихри в атмосфере Сатурна.





♄ САТУРН

Диаметр	120 000 км
Масса	$5,7 \cdot 10^{26}$ кг
	95 М $\oplus$
Плотность	690 кг/м ³
Период вращения	10 ч 40 мин 30 с
Среднее расстояние от Солнца	9,54 а. е.
Период обращения	29,46 года
Эксцентриситет орбиты	0,056
Наклон орбиты	2,5°



метана (CH_4), аммиака (NH_3), водяного пара, этана (C_2H_6), ацетилена (C_2H_2) и фосфина (PH_3) приходится менее 1 %. С большой вероятностью Юпитер и Сатурн, соседи по Солнечной системе, формировались в одинаковых условиях, так почему же в верхних слоях атмосферы Сатурна гелия заметно меньше? Скорее всего, более тяжёлый гелий медленно опускается к ядру гиганта. Об этом свидетельствует его слишком высокая по сравнению с ожидаемой температура: на верхней границе облачного покрова планеты, где давление равно 0,1 атм, температура составляет около -190°C . Хотя по земным меркам это страшный холод, имея

такую температуру, Сатурн излучает в 2,5 раза больше тепла, чем принимает от Солнца, и «оседание» гелия к центру, которое сопровождается выделением тепла, может объяснить наблюдаемое расхождение.

Другой интересной особенностью Сатурна является то, что параллельные экватору полосы в его атмосфере не такие контрастные, как у Юпитера. Возможно, это результат смешивания газов в направлении, перпендикулярном экватору (на Юпитере таких явлений замечено не было), или же следствие того, что аммиачные облака на Сатурне гораздо мощнее юпитерианских. А может быть, всё дело в особенностях сатурнианских ураганных ветров, скорость которых вблизи экватора достигает 1800 км/ч, а это в три раза больше, чем на Юпитере!

Ветры на Сатурне дуют в основном в восточном направлении и, по-видимому, не ограничиваются верхним слоем облаков, а распространяются вглубь минимум на 2000 км. По мере удаления от экватора их скорость ослабевает и появляются западные атмосферные течения, а наблюдаемая



относительно экватора симметрия потоков в южном и северном полушариях даёт основания предполагать, что эти потоки как-то связаны между собой в более глубоких слоях атмосферы.

В газовом покрове Сатурна наблюдается гораздо меньше, чем на Юпитере, мелких деталей — проявлений активности атмосферы, волн и узелков, но зато облачных полос на Сатурне больше и они заметны до очень высоких широт (78°). Кроме того, в атмосфере гиганта периодически наблюдаются мощные штормы, ураганы и пятна разных цветов (от жёлтого до коричневого). У него есть свои громадные вихри, аналоги Большого Красного Пятна на Юпитере — Большой Белый Овал, Большое Коричневое Пятно и другие, меньшего размера.

Грозы на Сатурне сравнимы по мощности с земными, но случаются гораздо реже и длятся по несколько месяцев, а гроза, которая бушевала на гиганте с января по октябрь 2009 г., оказалась самой длительной из тех, которые когда-либо наблюдались в Солнечной системе.

Долгое время учёным удавалось фиксировать только радишум, который сопровождает разряды, но в конце ноября 2009 г. космическому аппарату «Кассини» впервые удалось сфотографировать вспышки молний. До этого мешали высокая яркость атмосферы планеты и солнечный свет, отражённый её кольцами, из-за которого даже ночная сторона газового гиганта оказывается хорошо освещённой. Поэтому для того, чтобы различить и запечатлеть грозовые молнии, астрономам пришлось дожидаться редкого события, которое происходит раз в 15 лет, — равноденствия на Сатурне. Во время него Солнце пересекает плоскость колец и подсвечивает только их кромку, отчего на ночную сторону планеты опускается тьма.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ

Внутреннее строение Сатурна похоже на внутреннее строение Юпитера, он состоит из ядра и водородной оболочки. Это определил по характеру поля тяготения планеты космический аппарат «Пионер-11», впервые посетивший окрестности гиганта 1 сентября 1979 г.

При погружении в атмосферу планеты её температура и давление растут, так что она плавно переходит в оболочку, состоящую из жидкого молекулярного водорода. На глубине около 30 000 км, когда давление достигает 3 млн атмосфер, водород переходит в металлическую фазу, превращаясь в смесь из протонов и электронов. Слой металлического водорода вращается вместе со всей планетой, и движение заряженных частиц в её недрах приводит к возникновению электрических токов, которые генерируют магнитное поле Сатурна.

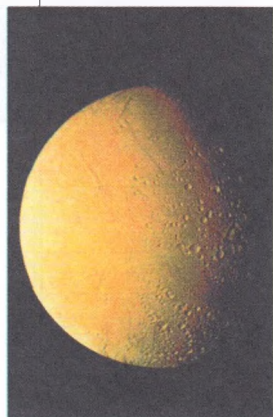
В центре гиганта находится горячее железокремниевое ядро с примесями метановых, аммиачных и водяных льдов. Температура в ядре достигает 12—20 тыс. градусов, но при давлении в миллионы атмосфер структура веществ очень сильно меняется, поэтому кристаллы образующихся в центре Сатурна льдов не тают даже при таких огромных температурах и совсем не похожи на знакомые нам «земные» льды.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Магнитное поле Сатурна сильнее, чем магнитное поле Земли, но слабее поля Юпитера. Оно уникально, так как магнитная ось гиганта совпадает с осью его вращения. Магнитосфера Сатурна, как и других тел в Солнечной системе, определяется давлением солнечного ветра. Она симметрична и в целом очень похожа на магнитосферу



Спутник Сатурна Энцелад. На его поверхности заметны следы как метеоритной бомбардировки, так и деформаций под действием внутренних сил.



Земли, только гораздо больше её по размеру и простирается в направлении нашего светила на 1,1 млн км.

Радиационные пояса Сатурна — область магнитосферы, в которой захватываются и удерживаются заряженные частицы, приходящие от Солнца и спутников планеты, — очень обширны и имеют правильную форму. Они охватывают и кольца гиганта, и даже некоторые орбиты ближайших к нему спутников. Часть заряженных частиц, двигаясь вдоль магнитных линий от одного полюса планеты к другому, при прохождении системы колец поглощается льдом и пылью, поэтому в области колец магнитосфера Сатурна практически пуста.

На Сатурне обнаружены полярные сияния — свечение верхних слоёв атмосферы под действием заряженных частиц, движущихся вдоль силовых линий магнитного поля. В отличие от сияний на Земле и Юпитере они бывают не только в виде кольца, но могут покрывать и весь полюс, появляясь на широтах выше 65°, что не характерно для нашей планеты.

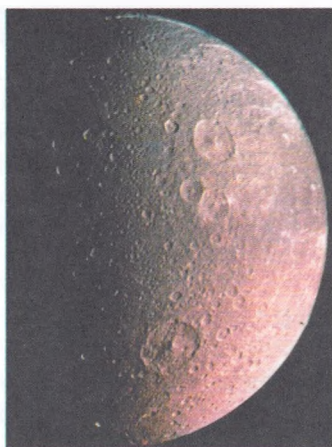
СПУТНИКИ

К весне 2010 г. у Сатурна было известно 62 естественных спутника, у 53 из которых есть постоянные номера и названия, а у остальных — временные обозначения. Многие спутники хорошо отражают солнечный свет, имеют небольшие размеры и состоят из горных пород и льда (их плотность не превышает 1,4 г/см³). Большинство крупных спутников, за исключением Гипериона и Фебы, всегда повернуты к планете одной стороной, как Луна к Земле.

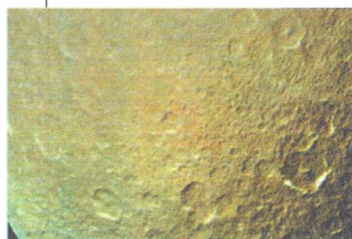
23 спутника Сатурна обращаются в ту же сторону, что и планета, а также движутся практически по круговым орбитам, близко расположенным к гиганту и лежащим вблизи его экваториальной плоскости. Всё это говорит о том, что они формировались одновременно с Сатурном. Остальные спутники находятся далеко от гиганта, движутся по хаотическим орбитам и, следовательно, являются астероидами и ядрами комет, которые сравнительно недавно были захвачены планетой.



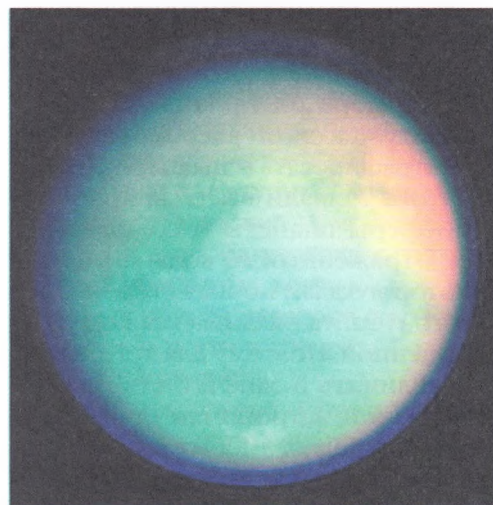
▲ Спутник Сатурна Мимас.



▲ Спутник Сатурна Диона.



◀ Фрагмент поверхности спутника Сатурна Реи.



▲ Спутник Сатурна Титан обладает мощной атмосферой. Снимок зонда «Кассини».



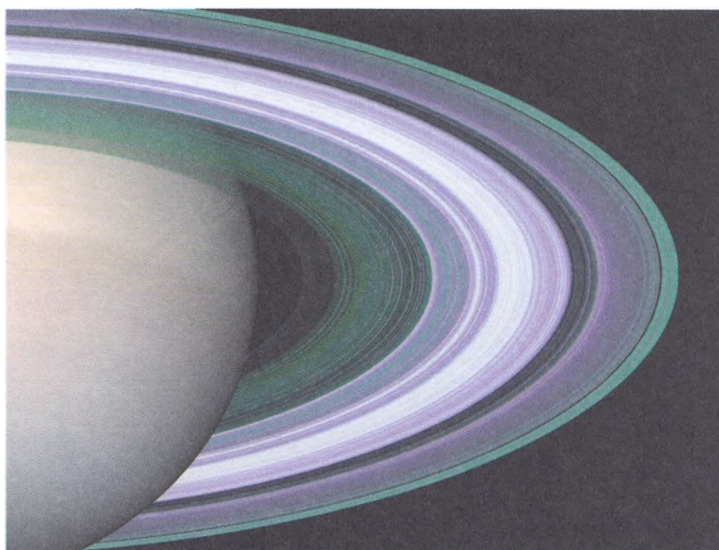
Самый большой спутник — Титан был открыт в 1655 г. выдающимся голландский учёным Христианом Пойгенсом. По диаметру (5152 км) он превосходит Меркурий и единственный в Солнечной системе обладает очень плотной атмосферой, которая состоит из азота (около 98 %), а также метана, этана, аргона и др. Атмосфера Титана в 10 раз превышает земную по массе. Она создаёт давление у поверхности спутника в 1,5 раза больше, чем атмосферное давление на Земле. В 2007 г. в верхних слоях атмосферы Титана были обнаружены заряженные тяжёлые ионы, которые являются «строительным материалом» для найденных ранее крупных органических молекул — толинов, масса которых достигает 8000 масс атомов водорода.

Известно, что на Титане выпадают осадки. Причиной тому — метановые облака, которые парят на высоте около 25 км и покрывают 1 % поверхности спутника. По сравнению с Землёй это очень мало, ведь наша облачность покрывает 50 % поверхности.

Температура у поверхности Титана около -175°C . Спутник состоит из льда и скалистых горных пород, его средняя плотность равна $1,9\text{ г/см}^3$. В 2006—2007 гг. в северном полушарии Титана впервые в истории обнаружили внеземные «водоёмы» размером от одного до сотен километров; правда, состоят они не из воды, а из жидких углеводородов — метана или этана.

КОЛЬЦА

Кольца Сатурна состоят из множества частичек льда, обломков камней, покрытых ледяной коркой, и пылинок, которые обращаются вокруг планеты. Они располагаются в экваториальной плоскости планеты, которая не совпадает с плоскостью земной орбиты, поэтому их вид ме-

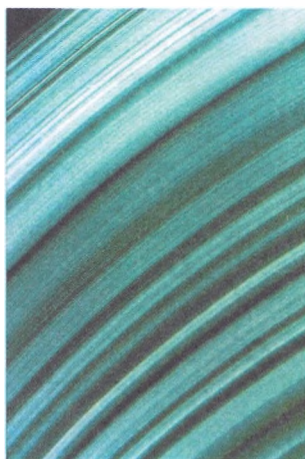


няется от широкой полосы до еле различимой черты. До 1977 г. они считались единственными в Солнечной системе, пока не были обнаружены очень слабые кольца Урана, а вскоре после этого — кольца вокруг Юпитера и Нептуна.

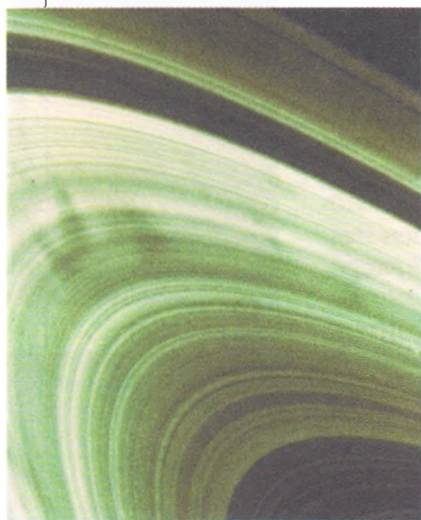
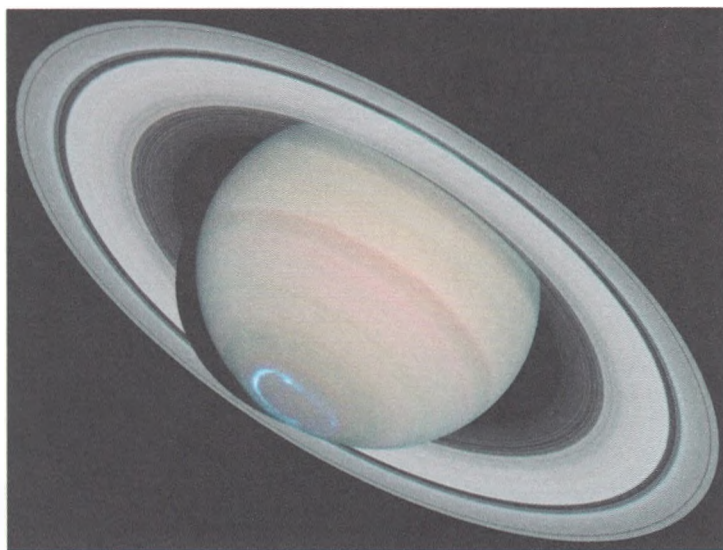
История исследования колец началась в 1610 г., когда Галилей впервые увидел их в свой телескоп, хотя и не понял, что это такое. Он посчитал, что Сатурн состоит из трёх частей. Почти полвека спустя Гюйгенс со-

Кольца Сатурна. Снимок получен зондом «Кассини».

Кольца Сатурна. Цвета не натуральные — они подчёркивают различие минерального состава колец.



На крупномасштабном снимке видно, что кольца Сатурна состоят из огромного количества тонких колечек.



▲ Деление Кассини между яркими кольцами заполнено веществом, похожим на вещество внутреннего (крепового) кольца. Видно полярное сияние.

◀ «Споки», или «спицы» (поперечные тёмные полосы на кольцах), образуются в результате движения вещества под действием магнитного поля планеты.

обшил о наличии у Сатурна кольца, в 1675 г. Кассини обнаружил между кольцами щель, а в XVIII в. Иммануил Кант первым предположил, что кольца должны быть тонкими.

Ещё Гюйгенс считал, что кольца не являются сплошным твёрдым телом, а состоят из множества мельчайших частиц, находящихся на околопланетной орбите. В XIX в. эта гипотеза подтвердилась. Английский физик Джеймс Максвелл и русский математик Софья Ковалевская доказали, что сплошное твёрдое кольцо тако-

го размера существовать не может, а наблюдения русского астрофизика Аристарха Белопольского поставили окончательную точку в этом вопросе.

Что же мы знаем сегодня о кольцах Сатурна — самых заметных и красивых во всей Солнечной системе? Размер частиц меняется от микрометров до сантиметров, лишь некоторые из них достигают в поперечнике десятков метров. Расстояние между обломочками колеблется от сантиметра до нескольких метров, а скорость их движения в разных частях системы колец различна: с увеличением расстояния от планеты она уменьшается. По существу, кольца Сатурна — это колоссальное скопление крохотных спутничков, самостоятельно обращающихся вокруг гиганта.

Частицы, образующие кольца, гораздо более хрупкие, чем рыхлый снег, они всё время сталкиваются, разрушаются и слипаются вновь. Сами кольца очень тонкие: при диаметре около 250 000 км их средняя толщина заведомо меньше километра. С Земли мы видим 3 кольца, названные А, В и С, но на самом деле система колец Сатурна состоит из тысячи отдельных узких колечек с тёмными промежутками между ними, в которых практически нет вещества.

За появление «щелей» в кольцах ответственна гравитация спутников гиганта, под действием которой часть обломков в кольце меняет траектории и покидает свои орбиты, перемещаясь на соседние. Наиболее широкий промежуток шириной в 3500 км называется делением Кассини в честь впервые увидевшего его астронома.

«Вояджеры» обнаружили поступающие от колец многочисленные кратковременные всплески радиоизлучения — аналоги молний, которые, скорее всего, являются результатом электризации частиц при столкно-



ФЕНОМЕНАЛЬНЫЙ ГЕКСАГОН САТУРНА

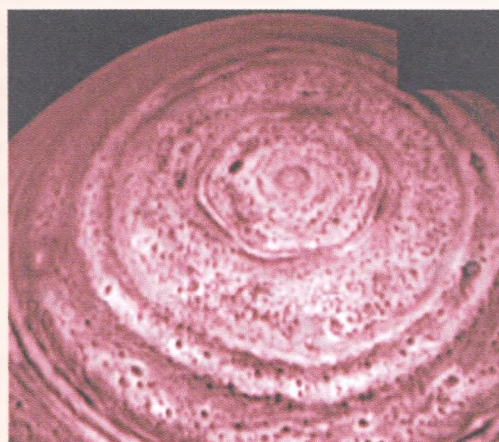
Изучая в начале 1980-х гг. снимки, полученные американскими космическими аппаратами «Вояджер-1» и «Вояджер-2», учёные заметили на северном полюсе Сатурна странное атмосферное образование, напоминающее правильный шестиугольник (гексагон). Плохое качество снимков не давало возможности серьёзно изучить это явление, и интерес к нему пропал, пока в ноябре 2006 г. космический аппарат «Кассини» не обнаружил его снова.

Гигантский геометрически правильный шестиугольник, окружающий северный полюс Сатурна, оказался довольно устойчивым образованием. Его природа до конца не ясна, скорее всего, это необычный облачный вихрь, уходящий в глубь атмосферы планеты на расстояние порядка 100 км. Известно, что эта структура вращается и она так велика, что внутри неё поместится четыре Земли. Над облачным гексагоном наблюдается кольцевое полярное сияние.

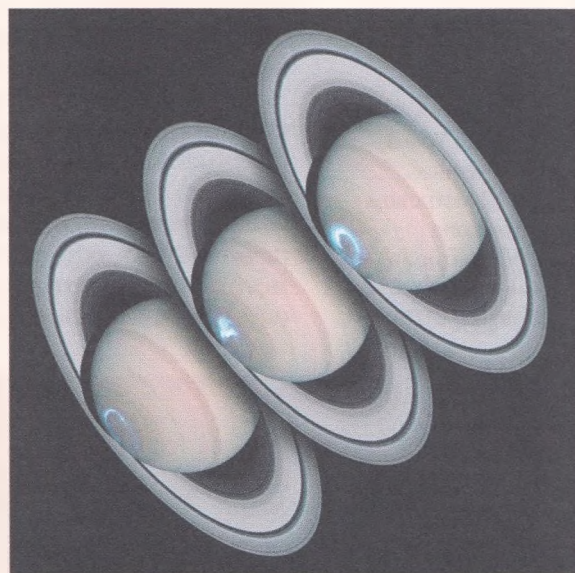
Весной 2010 г. учёные из Оксфордского университета (Великобритания) сумели в лабораторных условиях воспроизвести этот вихрь. Ёмкость с водой на поворотном столе имитировала вращающуюся атмосферу Сатурна. В неё поместили кольцо, которое вращалось с более высокой скоростью, генерируя при этом струйные течения.

Оказалось, что в зависимости от скорости вращения кольца в воде образовывались замкнутые фигуры — овалы и различные правильные многоугольники (треугольники, квадраты и т. д.). Количество вершин в появляющейся фигуре зависело от соотношения скоростей, с которыми вращались сосуд с водой и кольцо: чем больше становилась разность скоростей, тем меньше было вершин.

Интересно, что на южном полюсе Сатурна и на других планетах-гигантах ничего похожего на облачный шестиугольник обнаружено не было. Однако на Земле во время ураганов периодически регистрируются аналогичные структуры. Феномен гексагона в том, что все земные образования неустойчивы и быстро разрушаются, а сатурнианский атмосферный вихрь уже третье десятилетие остаётся неизменным.



Северный полюс Сатурна. На снимке, полученном осенью 2006 г. космическим аппаратом «Кассини», хорошо видна устойчивая облачная структура в виде правильного шестиугольника — гексагона.



Полярное сияние на Сатурне. Снимки сделаны 24, 26 и 28 января 2005 г. космическим телескопом «Хаббл». Сияние, снятое в ультрафиолете, показано на фоне изображения планеты в видимом диапазоне.

вениях. Кроме того, эти космические аппараты открыли окутывающую кольца газообразную атмосферу из молекулярного кислорода, никак не

связанную с атмосферой планеты-хозяйки.

Происхождение колец Сатурна пока не ясно, возможно, они обра-



зовались одновременно с планетой, а быть может, возникли при разрушении больших спутников. Мы знаем только, что для поддержания своего существования кольца постоянно должны пополняться материалом извне — например, обломками распадающихся мелких спутников.

В начале XXI в. аппарат «Кассини» обнаружил у двух спутников Сатурна, Анфы и Мефоны, незамкнутые кольца. По-видимому, эти арки состоят из частичек, которые были выбиты из спутников планеты при ударах микрометеоритов. Так что не только сам гигант, но и его луны имеют кольца!

УРАН: КОСМИЧЕСКИЙ ЛЕЖЕБОКА

Уран — седьмая от Солнца планета Солнечной системы. Он расположен так далеко от Земли, что даже в ясные ночи едва различим невооружённым глазом. Люди в древности и не подозревали о его существовании, так что Урану было суждено стать первой планетой, открытой в XVIII в. с помощью телескопа.

Первооткрывателем Урана считается английский музыкант и астроном немецкого происхождения Уильям Гершель. 13 марта 1781 г. он впервые увидел в свой телескоп неизвестный ранее объект, который посчитал кометой. Впоследствии оказалось, что с 1690 по 1781 г. Уран наблюдался по

крайней мере 21 раз, но астрономы принимали его за звезду.

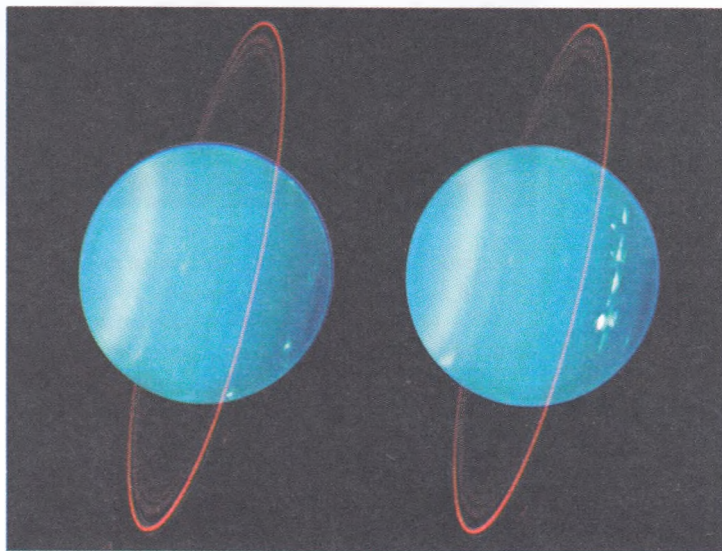
В переводе с древнегреческого Уран означает «небо». Это единственная планета, названная в честь греческого (а не римского) бога — отца богов. Интересно, что официальное название закрепилось за планетой только в 1850 г.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Впервые элементы орбиты Урана вычислил в 1783 г. выдающийся французский учёный Пьер Симон Лаплас. Планета расположена приблизительно в 19,2 раза дальше от Солнца, чем Земля. Плоскость её орбиты наклонена к эклиптике под углом $0,77^\circ$, а большая полуось равна 2,87 млрд километров (19,2 а. е.). Разница между наибольшим и наименьшим расстоянием до Солнца равна 262 млн километров. Двигаясь со средней скоростью 6,8 км/с, гигант совершает один полный оборот вокруг светила за 30 799 дней — за 84 с лишним года!

Уран в 14,5 раза массивнее и в четыре раза больше по размеру, чем Земля. Его масса равна $8,68 \cdot 10^{25}$ кг, экваториальный радиус составляет 25 559 км, а полярный — 24 973 км. Средняя плотность вещества планеты, как и у остальных планет-гигантов, невелика — $1,27 \text{ г/см}^3$, т. е. Уран

Снимки Урана, полученные на 10-метровом телескопе обсерватории имени В. М. Кека (Гавайи, США).





состоит в основном из лёгких элементов. Один оборот вокруг своей оси гигант совершает за 17 ч 24 мин, но в верхних слоях его атмосферы дуют очень сильные ветры, поэтому воздушные массы вблизи 30° южной широты делают полный оборот вокруг планеты всего за 14 часов.

Самой примечательной особенностью Урана является нетипичный для планет Солнечной системы наклон оси его вращения к плоскости орбиты: около 98°. Из-за этого на планете наблюдаются очень сильные сезонные изменения погоды. Каждый полюс гиганта по 42 года находится в темноте и по 42 года — на солнечной стороне, а на экваторе бывает по две зимы и два лета, продолжающиеся по 20 лет. Из-за большой удалённости от Солнца температуры на зимней и летней стороне планеты почти одинаковы, около верхушки облаков они достигают значений -216°C , а разброс величин составляет всего лишь 4°C .

Хотя полюса планеты за год получают от Солнца больше энергии, чем области на экваторе, Уран оказывается теплее в экваториальных областях, а не в полярных. Почему так происходит, пока неясно.

АТМОСФЕРА

Как и у других газовых гигантов, атмосфера Урана состоит в основном из водорода (83 % по массе), гелия (15 %) и метана (CH_4 , около 2 %) с небольшой примесью воды, сероводорода (H_2S) и аммиака (NH_3). Кроме того, в ней обнаружены следы этана (C_2H_6), метилацетилена ($\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}$) и диацетилена (C_2H_2). Своим зеленовато-голубым цветом атмосферы гигант обязан тому, что красные лучи поглощаются метаном.

Уран излучает в космос практически столько же энергии, сколько получает от Солнца, а также обладает довольно спокойной атмосферой, в которой наблюдается очень мало вихрей, струйных течений и пятен, отличающихся по цвету от однородной массы облаков, окутывающих планету. Этим он не похож на своих гораздо более активных собратьев — Юпитер и Сатурн.

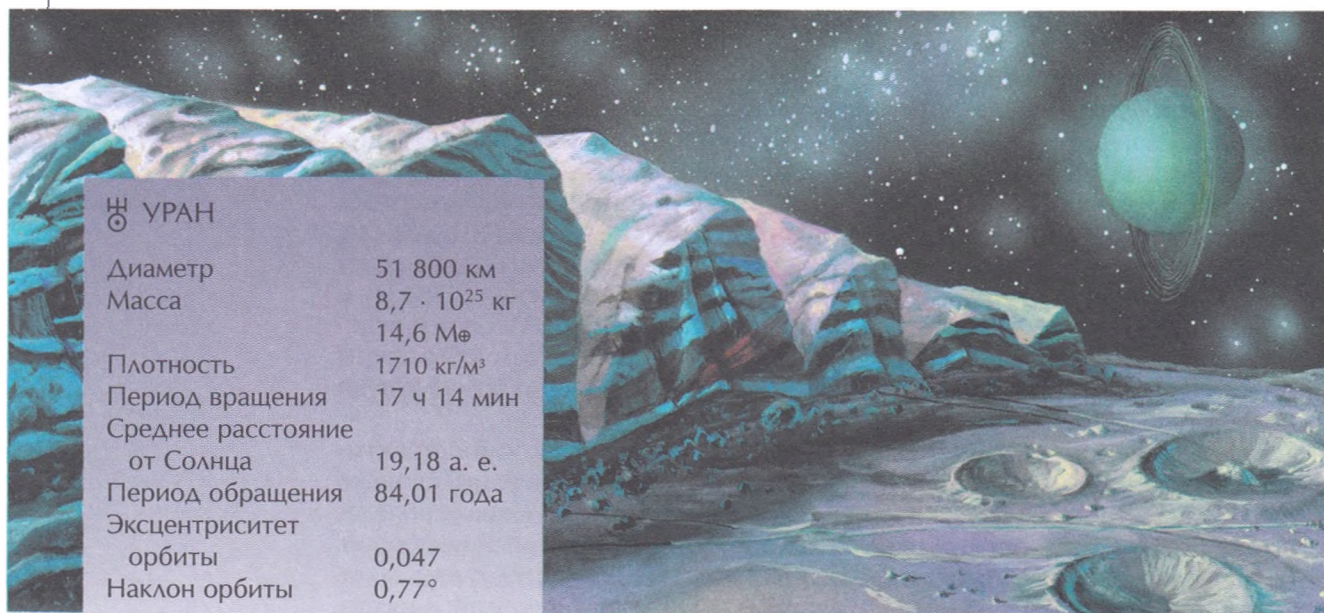
Признаки повышения активности атмосферы наблюдаются на Уране весной, когда планета приближается к своему равноденствию. Последнее из них было в декабре 2007 г., а в конце лета 2006 г. в северном полушарии планеты образовался мощный

КАК УРАН «ЗАВАЛИЛСЯ» НАБОК?

При движении по орбите Уран как бы катится, переворачиваясь с боку на бок, что совсем не похоже на поведение других планет Солнечной системы. Маловероятно, что Уран так и формировался — лёжа на боку, ведь это противоречит всем современным гипотезам образования Солнечной системы. В то же время почти все гипотезы предполагают, что планеты формировались в одинаковых условиях и должны вращаться в одну и ту же сторону. Так, может быть, Уран — «пришелец», захваченный Солнцем? Но гравитационный захват одного тела другим — почти невероятное событие, к тому же Уран очень велик для этого и схож по плотности

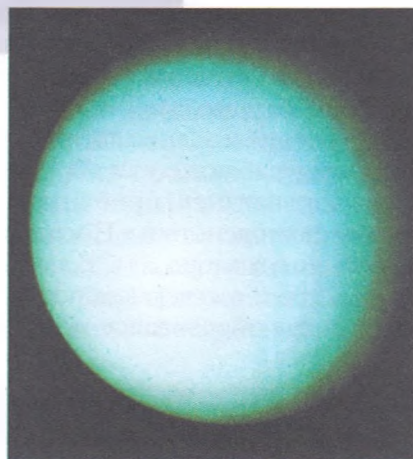
и своему составу с остальными планетами-гигантами. Получается, что гигант образовался одновременно со своими «соседями» из того же самого протопланетного облака и, скорее всего, изначально вращался в ту же сторону, что и остальные планеты.

При каких же обстоятельствах планета «завалилась» набок? Многие учёные склоняются к тому, что это произошло на раннем этапе формирования планеты в результате её столкновения с небесным телом, сравнимым по размеру с Землёй. Но есть и другая гипотеза, согласно которой ось вращения планеты за миллионы лет раскачал крупный спутник, впоследствии «разорвавший» гравитационные узы, связывавшие его с Ураном, и потерянный гигантом.



♅ УРАН

Диаметр	51 800 км
Масса	$8,7 \cdot 10^{25}$ кг
	14,6 М $\oplus$
Плотность	1710 кг/м ³
Период вращения	17 ч 14 мин
Среднее расстояние от Солнца	19,18 а. е.
Период обращения	84,01 года
Эксцентриситет орбиты	0,047
Наклон орбиты	0,77°



вихрь шириной примерно 1700 км и длиной 3000 км. И хотя подобные тёмные облака нередко видны на схожем по составу Нептуне, для Урана появление такого вихря является событием.

Толщина атмосферы гиганта порядка 7000 км. В ней, как и на других планетах-гигантах, наблюдаются сильные воздушные течения. В основном это ураганные ветры, которые дуют параллельно экватору с запада на восток со скоростями от 140 до 580 км/ч, а также ветры, дующие

вдоль экватора в обратном направлении со скоростью 350 км/ч.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Точное строение гиганта до сих пор неизвестно. Одна из моделей предполагает, что под газовым водородно-гелиевым слоем находится жидкая оболочка из смеси воды, метана и аммиака с маленьким (не больше 3,7 земных масс и 1/5 радиуса планеты) каменным ядром в центре. Согласно другой модели, сразу под мощной атмосферой скрывается железокремниевое ядро с вкраплениями аммиачного, метанового и водяного льдов.

Магнитная ось планеты наклонена к оси вращения под углом 59° и смещена от центра Урана к южному полюсу примерно на 1/3 радиуса. Столь необычное расположение оси приводит к тому, что магнитные полюсы планеты очень сильно удалены от географических полюсов, а конфигурация поля, которое в 48 раз сильнее земного, достаточно сложная.



Магнитосфера гиганта на противоположной от Солнца стороне закручена, как нити в канате, и этот «хвост» тянется на миллионы километров. Мощность поля сильно меняется от района к району. Кроме того, на планете имеются две сильные магнитные аномалии.

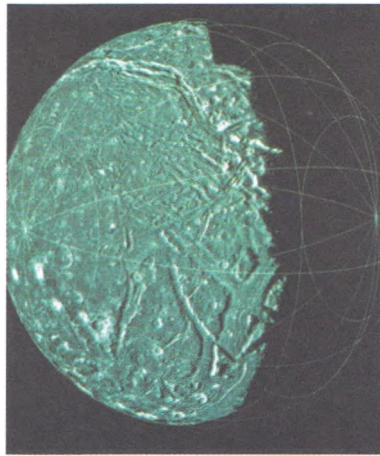
Радиационные пояса гиганта по интенсивности такие же, как земные, а в верхних слоях атмосферы Урана наблюдаются полярные сияния.

СПУТНИКИ И КОЛЬЦА

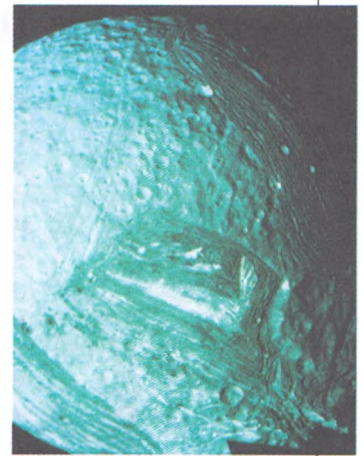
«Свита» Урана гораздо менее массивная, чем у других газовых гигантов: объединённая масса пяти самых крупных спутников планеты вполтину меньше массы Тритона, спутника Нептуна. Все 27 естественных спутников вращаются в плоскости экватора планеты, практически перпендикулярно плоскости её орбиты. Они состоят наполовину из льда с включениями аммиака и углекислого газа, а наполовину — из горных пород. Две самые большие луны, Титанию и Оберон диаметрами 1578 км и 1523 км соответственно, открыл Гершель в 1787 г.

Обнаруженные в 1977 г. кольца Урана очень тёмные, их вещество подобно застывшей лаве и углю. Они образованы из частиц диаметром от нескольких миллиметров до нескольких метров. На май 2010 г. известно 13 колец, самое яркое из которых имеет переменную толщину.

Наблюдения с космических зондов показывают, что кольца Урана постоянно пополняются пылью, которую мощные метеориты выбивают с поверхности спутников. Повидимому, кольца Урана молоды и не были сформированы вместе с планетой. Об этом свидетельствуют большие промежутки между ними и различия в прозрачности. Вероятно, ранее кольца были одним из спут-

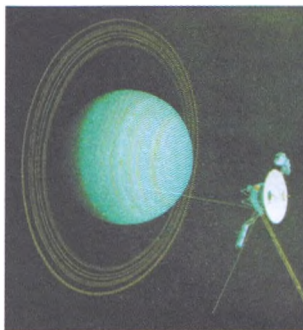


Спутник Урана Ариэль.

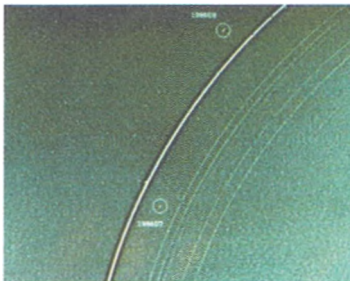


Спутник Урана Миранда.

ников гиганта, который разрушился либо под действием его гравитации, либо при столкновении с небесным телом.

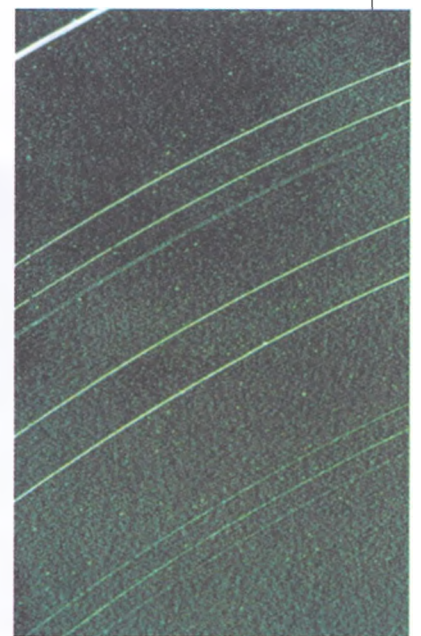


Кольца Урана и аппарат «Вояджер».



▲ Два небольших спутника с внешней и с внутренней стороны кольца не позволяют частицам вещества покидать кольцо.

Кольца Урана крупным планом.





НЕПТУН: ПОЙМАННЫЙ В СЕТИ МАТЕМАТИКИ

Нептун — восьмая по счёту и единственная планета в Солнечной системе, которую открыли благодаря математическим вычислениям. Из-за слабого блеска её невозможно разглядеть без помощи оптических приборов, поэтому на мысль о существовании далёкой планеты учёных натолкнули странности в поведении Урана: каждый раз после очередного уточнения характеристик его орбиты гигант медленно, но верно отклонялся от вычисленной траектории.

Эти отклонения безуспешно пытались объяснить столкновением Урана с крупной кометой, сопротивлением межпланетной среды, неточностью закона тяготения Исаака Ньютона и даже арифметическими ошибками тех, кто составлял таблицы положений Урана на небесной сфере. Но со временем стало очевидно, что аномалии в движении Урана вызваны притяжением ещё одной планеты, орбита которой находится далеко за его орбитой.

Проблема поиска далёкой планеты заинтересовала, в частности, двух математиков и астрономов — британца Джона Адамса и француза Урбена Леверье. В результате оба

они разными методами и абсолютно независимо друг от друга рассчитали путь неизвестной планеты. Адамс сделал это раньше, зато Леверье вычислил её движение точнее, а кроме того, именно с подачи Леверье два немецких астронома, Иоганн Галле и Гейнрих д'Арре, обнаружили Нептун.

Знаменательное событие произошло в Берлинской обсерватории 23 сентября 1846 г., и впоследствии новая планета была названа в честь древнеримского бога морей и потоков. А уже через 17 дней, 10 октября, английский астроном-любитель Уильям Ласселл с помощью домашнего телескопа открыл самый большой спутник Нептуна — Тритон, радиус которого 1353 км.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Орбита Нептуна наклонена к эклиптике под углом $1,77^\circ$. Она ещё более круглая, чем у Сатурна, разница минимального и максимального расстояний до Солнца чуть больше 101 млн километров. Находясь в среднем на расстоянии 4,5 млрд километров от Солнца (в 30 раз дальше Земли), Нептун совершает один оборот вокруг него со средней скоростью 5,43 км/с за 60 190 дней, т. е. за 164,79 года. В 2011 г. он впервые вернётся в ту точку, в которой был обнаружен в XIX в.

Ось вращения Нептуна наклонена к плоскости его орбиты под углом $28,32^\circ$, и один оборот вокруг неё планета совершает за 16 ч 6 мин и 36 с. Масса Нептуна в 17 раз превышает массу Земли, она равна $1,0243 \cdot 10^{26}$ кг. В то же время средняя плотность планеты $1,638$ г/см³ в 3,4 раза меньше земной, а это означает, что планета в основном состоит из лёгких элементов. Экваториальный радиус Нептуна

Нептун
с Большим
Тёмным
Пятном. Снимок
космического
аппарата
«Вояджер».





равен 24 764 км, а полярный всего на 423 км меньше. Из-за большого размера и низкой плотности Нептун относят к газовым гигантам.

НЕПТУН — РОДНОЙ БРАТ УРАНА

По характеристикам атмосферы и внутреннего строения Нептун очень похож на Уран. Атмосфера Нептуна состоит в основном из водорода (80 %), гелия (19 %) и метана (1 %), окрашивающего её в голубой цвет. В ней формируются облака из аммиака и сероводорода, а в нижних слоях, кроме того, ещё из сульфида аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ и воды. В атмосфере заключено 10—20 % от общей массы планеты. Она уходит вглубь на 10—20 % радиуса и там постепенно уплотняется в перегретую жидкую мантию, температура которой 2000—5000 К.

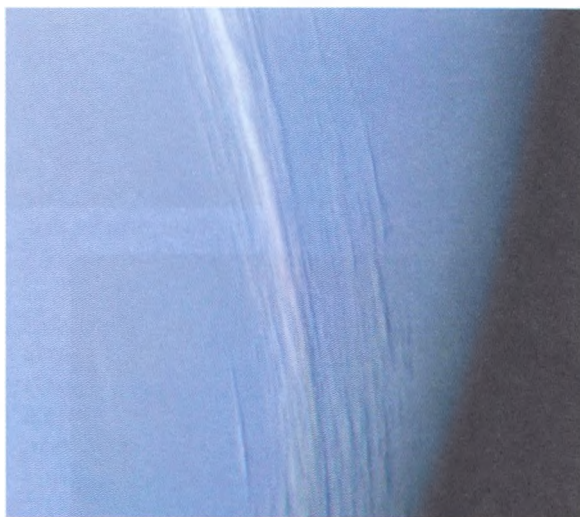
По разным оценкам, масса мантии Нептуна превосходит земную в 10—15 раз. Эта горячая, очень плотная, обладающая высокой электропроводностью субстанция богата водой, аммиаком и метаном. На её границе с ядром давление может достигать 104 атм.

Под мантией расположено тяжёлое ядро, состоящее из железа, никеля и соединений кремния — силикатов. Предположительно, оно в 1,2 раза тяжелее Земли и сравнимо с ней по размеру. Вполне вероятно, что давление в самом центре гиганта доходит до значений $7 \cdot 10^6$ атм., а температура — до 5400 К.

Своей магнитосферой и магнитным полем Нептун очень похож на Уран. Магнитная ось Нептуна отклонена от оси вращения на целых 47°, а магнитное поле, которое в 27 раз мощнее земного, подвергается во время вращения планеты мощным изменениям. «Хвост» магнитосферы Нептуна тянется не меньше чем

на 72 его радиуса. У Нептуна, как и у Урана, помимо двух магнитных полюсов наблюдаются две магнитные аномалии, такие сильные, что по мощности они сравнимы с «основными» полюсами.

Предполагается, что механизм генерации магнитного поля на Уране и Нептуне особый и сильно отличается от механизма образования магнитных полей на других планетах и их спутниках.



«Морщинки» на поверхности Нептуна — это рельеф его облачной структуры. Высота облачных полос достигает 50 км, а их ширина лежит в интервале от 50 до 200 км. Снимок сделан космическим аппаратом «Вояджер-2».

СТРАСТИ В ТЁМНОМ ЦАРСТВЕ

Хотя Уран и Нептун во многом схожи, но близнецами их не назовёшь. Одно из различий между ними — уровень метеорологической активности. На видимой поверхности Нептуна заметно больше облачных полос, а также тёмных и светлых пятен — вихрей. Кроме того, на южном полюсе планеты обнаружена горячая область, температура которой на 10 К выше, чем в среднем по планете.



♆ НЕПТУН

Диаметр	48 600 км
Масса	$1,03 \cdot 10^{26}$ кг
	17,2 М $\oplus$
Плотность	2300 кг/м ³
Период вращения	16 ч 03 мин
Среднее расстояние от Солнца	30,06 а. е.
Период обращения	164,79 года
Эксцентриситет орбиты	0,009
Наклон орбиты	1,77°



Механизм повышенной активности атмосферы Нептуна пока не известен. На Земле за погоду отвечает Солнце, которое нагревает океаны и атмосферу. Гигант же получает в 900 раз меньший поток солнечного света, чем Земля, но вместо холодного сонного царства Нептун представляет собой динамичный и турбулентный мир.

Другое отличие от Урана в том, что Нептун излучает в космос в 2,6 раза больше энергии, чем получает от Солнца, и, следовательно, имеет внутренний источник тепла неизвестной природы. Но даже суммарная энергия планетарных недр и

Солнца не может объяснить, почему атмосфера Нептуна меняется очень быстро и как именно образуются гигантские шторма и самые быстрые в Солнечной системе ветры.

Эти ветры дуют вдоль экватора планеты в направлении, противоположном её вращению. Они в три раза мощнее юпитерианских и в девять раз превосходят земные. Кроме того, на Нептуне замечены гигантские антициклоны — аналоги Большого Красного Пятна на Юпитере, которые сравнимы с ним по размеру, но живут гораздо меньше.

КОЛЬЦА И СПУТНИКИ

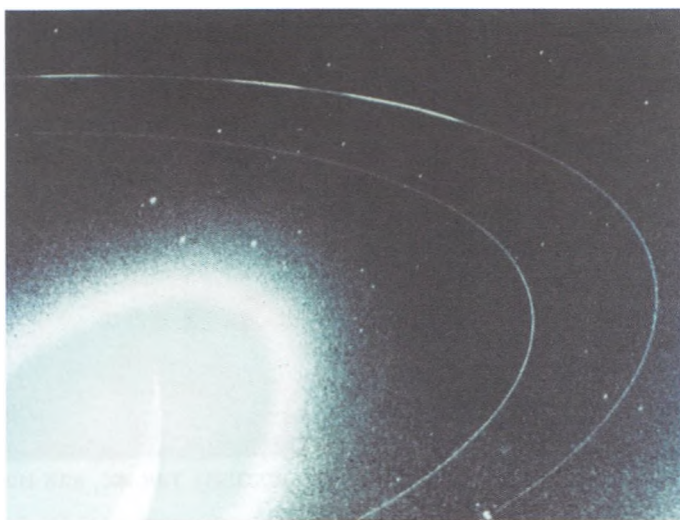
В середине 1980-х гг. во время затмения далёких звёзд Нептуном астрономы обратили внимание на симметричное ослабление блеска звёзд до и после самого затмения. Возникло предположение, что вокруг планеты есть невидимые с Земли кольца. Их существование в 1989 г. подтвердил «Вояджер-2», а наземные наблюдения начала XXI в. показали, что эти кольца очень непостоянны. Скорее



всего, они молоды и просуществуют недолго.

Сейчас у гиганта известны шесть слабых полупрозрачных колец, одно из которых безымянное, а пять носят имена астрономов, принимавших участие в открытии планеты. Самое удалённое от планеты — кольцо Адамса, расположенное на расстоянии 63 000 км от её центра. Оно состоит из пяти ярких дуг (арок). Они представляют собой сложные вихри, существование которых трудно объяснить, ведь по законам механики они должны были разрушиться или превратиться в одно сплошное кольцо. Может быть, их поддерживает гравитация Галатеи — спутника Нептуна, который находится внутри кольца.

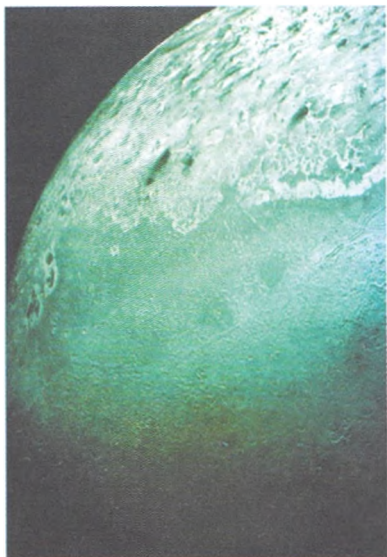
К маю 2010 г. у Нептуна обнаружено 13 спутников, шесть из которых были найдены «Вояджером-2». Два из них — Нереида и Тритон — обращаются вокруг планеты в обратном направлении. Нереида имеет одну из самых вытянутых орбит в Солнечной системе, а на Тритон, превосходящий размером Луну, приходится 99,5 % массы всех спутников планеты.



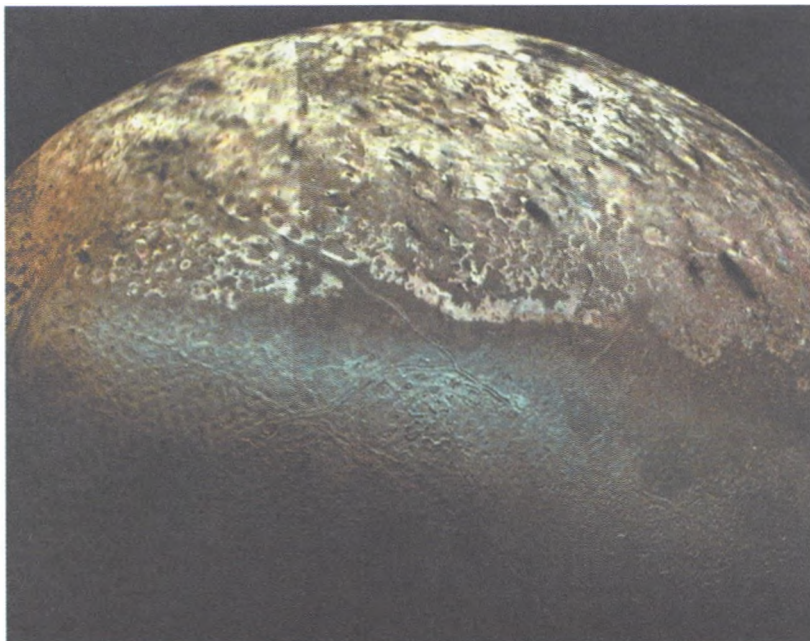
Тритон отличается большой плотностью (2 г/см^3) и самой низкой температурой поверхности среди спутников Солнечной системы (-235°C). Он имеет очень тонкую газовую оболочку, верхний слой которой на 99 % состоит из азота. В нижних слоях атмосферы обнаружены метан и угарный газ (CO). На поверхности спутника есть кратеры, каньоны и горы, а гейзеры жидкого

Кольца Нептуна состоят из отдельных дуг.

Спутник Нептуна Тритон. Полярная шапка состоит из замёрзшего азота.

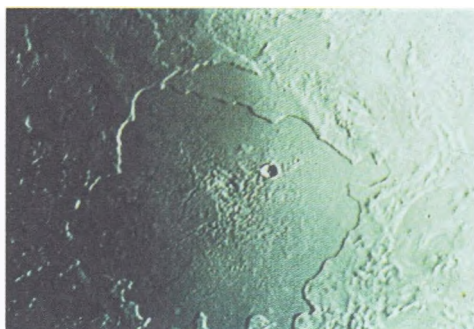


Тёмные шлейфы на поверхности Тритона — следы криовулканизма.





Ледяное озеро
на Тритоне.



азота выбрасывают кипящий газ на высоту 7—8 км.

На Тритоне сменяются времена года. Это происходит так же, как на

Земле, хотя и гораздо медленнее, ведь год длится на спутнике 165 земных лет. Кроме того, атмосферное давление на спутнике «скачет» не на «миллиметры ртутного столба», как у нас, а в разы.

Тритон, этот удивительный ледяной мир, через десятки миллионов лет будет разрушен гравитацией Нептуна. Под действием неё спутник приближается к планете и в конце концов подойдёт к ней так близко, что его разорвёт на части, а из его обломков может сформироваться большое и яркое кольцо, видимое с Земли.





МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

АСТЕРОИДЫ

В конце XVIII в. астрономы насчитывали в Солнечной системе семь планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн были известны с глубокой древности, а в 1781 г. английский учёный Уильям Гершель заметил в телескоп седьмую планету, названную Ураном. К тому времени периоды обращения планет и размеры их орбит уже были определены с высокой точностью. Если сравнить расстояния планет от Солнца, то окажется, что они возрастают приблизительно в геометрической прогрессии. Эта закономерность получила название *правила Тициуса — Бодде* в честь немецких учёных И. Д. Тициуса и И. Э. Бодде. Её иллюстрирует следующая таблица:

$0,4 + 0$	$= 0,4$	Меркурий
$0,4 + 0,3$	$= 0,7$	Венера
$0,4 + 0,3 \times 2$	$= 1,0$	Земля
$0,4 + 0,3 \times 4$	$= 1,6$	Марс
$0,4 + 0,3 \times 8$	$= 2,8$	...
$0,4 + 0,3 \times 16$	$= 5,2$	Юпитер
$0,4 + 0,3 \times 32$	$= 10,0$	Сатурн
$0,4 + 0,3 \times 64$	$= 19,6$	Уран

Эта таблица довольно правильно даёт значения средних расстояний планет от Солнца в астрономических единицах. Как видим, между Марсом и Юпитером имеется промежуток: планеты, соответствующей пятому члену ряда, нет. Астрономы более трёх десятилетий с досадой и надеждой взирали на это нарушение математической гармонии.



И вот первый день нового, XIX столетия принёс долгожданное открытие. В ночь на 1 января 1801 г. в обсерватории в Палермо (остров Сицилия) астроном Джузеппе Пиацци, занимаясь составлением каталога звёзд, обнаружил в созвездии Близнецов слабую звёздочку примерно 7-й звёздной величины, которая отсутствовала на звёздных картах. Через несколько дней учёный, к удивлению своему, заметил, что звёздочка переместилась, причём так, как должна перемещаться по небу планета, расположенная дальше Марса. К сожалению, сначала болезнь, потом неблагоприятная погода прервали работу Пиацци. В результате тусклый небесный объект затерялся среди звёзд.

Об открытии узнал молодой немецкий математик Карл Фридрих

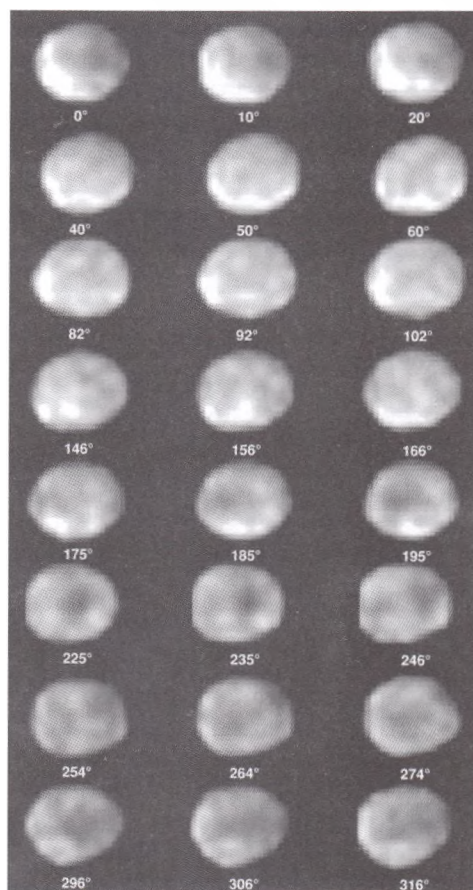
Гаусс. Он разработал новый метод, позволявший по немногим наблюдениям рассчитать точную эллиптическую орбиту небесного тела и затем вычислить его положение на будущее время. Это стало большим достижением в области небесной механики. Через год утерянную планету нашли в предсказанном месте и больше уже не теряли. Пиацци предложил назвать её Церерой — по имени древнеримской богини плодородия, покровительницы Сицилии.

Вдохновлённые успехом, европейские астрономы следили за движением Цереры и неожиданно в марте 1802 г. вблизи неё обнаружили ещё одну похожую маленькую планету. Ей дали имя Паллада в честь древнегреческой богини Афины Паллады. Удивительным оказалось то, что среднее расстояние от Солнца обеих планет практически совпадает и составляет 2,8 а. е. Именно на этом расстоянии должна была бы обращаться пятая планета в соответствии с правилом Тициуса — Боде.

В 1804 г. была открыта третья представительница этой семьи, получившая имя Юнона, а в 1807 г. — четвёртая, Веста. Все они были настолько малы, что даже при максимальном увеличении выглядели слабыми звёздочками, не имеющими заметного диска. Поэтому Уильям Гершель предложил называть их астероидами, т. е. «звёздopodobными».

В последующие годы усовершенствование телескопов и изобретение фотографии вызвали всё увеличивающийся поток открытий астероидов. К 1880 г. их было известно около 200, в 1923 г. замечен тысячный. По данным на 1995 г., постоянные номера в каталогах и названия получили 5000 астероидов, а в 2005 г. в каталогах было уже около 100 тыс. астероидов, из которых более 12 тыс. — с собственными именами. Сейчас их известно значительно больше.

Вращение астероида Веста. Снимки космического телескопа «Хаббл».





Кстати, о названиях. Сначала астероидам давали имена дневногреческих и древнеримских богов и героев. Когда этот «репертуар» исчерпался, в ход пошли женские имена практически всех народов мира. Наверное, не найдётся ни одной читательницы, которая не имела бы на небе своей планеты! Сейчас, правда, от этого правила стали отступать — имён не хватает. Планеты нарекают достаточно произвольно, больше полагаясь на номер в каталоге, за которым следит специальная комиссия Международного астрономического союза. Для примера приведём несколько названий астероидов (перед именем стоит номер): 2 Паллада, 224 Океана, 265 Анна, 433 Эрос, 558 Кармен, 951 Гаспра, 1180 Рита, 2202 Пеле, 4179 Таутатис...

Пока открыты лишь самые крупные астероиды. Более мелких — ещё многие миллионы.

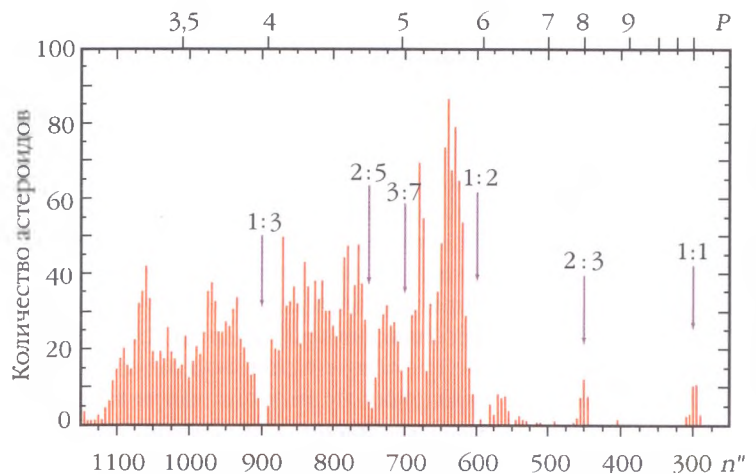
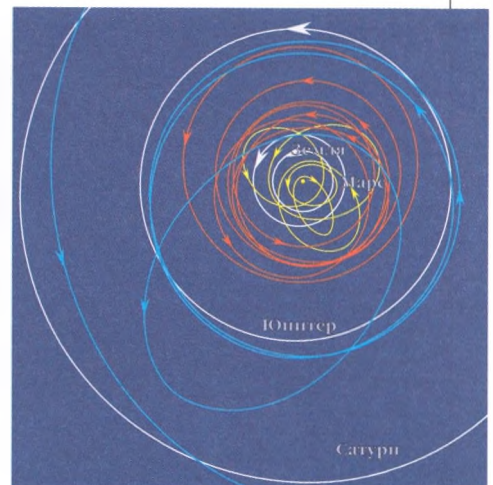
ПОЯС АСТЕРОИДОВ

Орбиты большинства известных астероидов расположены между орбитами Марса и Юпитера. Их средние расстояния от Солнца составляют от 2,2 до 3,6 а. е. Они образуют так называемый *главный пояс* астероидов. Все астероиды, как и большие планеты, движутся в прямом направлении. Периоды их обращения вокруг Солнца составляют в зависимости от расстояния от трёх до девяти лет.

Эксцентриситеты орбит астероидов редко превышают 0,4, но, например, у астероида 2212 Гефест он равен 0,8. Большинство орбит располагается близко к плоскости эклиптики, т. е. к плоскости орбиты Земли. Наклоны обычно составляют несколько градусов, однако бывают и исключения. Так, орбита 2 Паллады имеет наклон 35°.

Если на макете Солнечной системы орбиты астероидов изобра-

► Орбиты некоторых астероидов, спроецированные на плоскость эклиптики. Жёлтые линии — орбиты астероидов, пересекающие орбиту Земли, красные линии — орбиты астероидов между орбитами Марса и Юпитера, синие линии — орбиты астероидов, выходящие за орбиту Юпитера.



Распределение астероидов по величине большой полуоси орбиты. Верхняя горизонтальная ось — периоды обращения (P) в годах, нижняя — среднее суточное движение в угловых секундах. Цифры возле стрелок — отношения периодов обращения астероида и Юпитера. Под некоторыми из них видны отчётливые пробелы — люки Кирквуда.

зять проволочными кольцами, то получится рыхлый ажурный тор хаотически переплетённых в пространстве эллипсов. В этом хаосе, однако, была подмечена интересная закономерность: отсутствуют астероиды с большими полуосями орбит, равными 3,3; 2,1 а. е. и некоторыми другими. На диаграмме, где показано количество астероидов в зависимости от радиуса орбиты,



видны отчётливые пробелы. Их называли люками Кирквуда по имени обнаружившего этот эффект американского учёного. Оказывается, что в этих местах периоды обращения астероидов становятся соизмеримыми с периодом обращения самой большой и массивной планеты — Юпитера. За счёт гравитационных сил возникает резонанс. Орбита астероида раскачивается слабым, но многократным гравитационным воздействием Юпитера. В результате астероид покидает эту область пространства.

АСТЕРОИДЫ ВБЛИЗИ ЗЕМЛИ

Нам, жителям Земли, наиболее важно знать астероиды, орбиты которых близко подходят к орбите нашей планеты. Обычно выделяют три семейства сближающихся с Землёй астероидов. Они названы по именам типичных представителей: 1221 Амур, 1862 Аполлон, 2962 Атон. К семейству Амура относятся астероиды, орбиты которых в перигелии почти касаются орбиты Земли. «Аполлонцы» пересекают земную орбиту с внешней стороны, их перигелийное расстояние меньше 1 а. е. «Атонцы» имеют орбиты с большой полуосью меньше зем-

ной и пересекают земную орбиту изнутри. Представители всех указанных семейств могут встретиться с Землёй. Что же касается близких прохождений, то они случаются нередко.

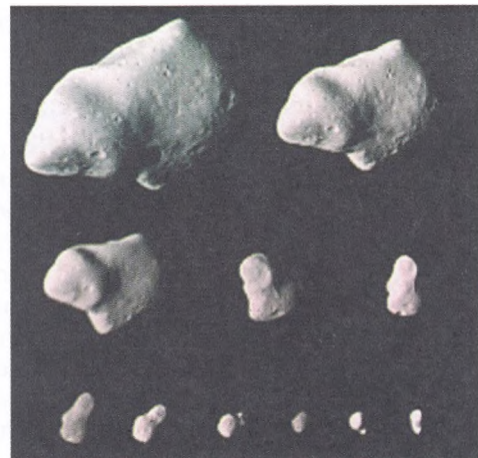
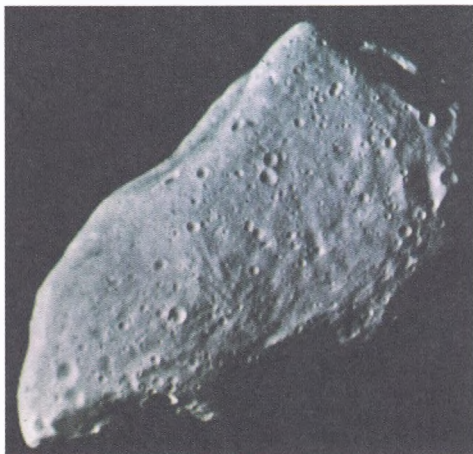
Например, астероид Амур в момент открытия находился в 16,5 млн километров от Земли, 2101 Адонис приблизился на 1,5 млн километров, 2340 Хатхор — на 1,2 млн километров. Астрономы многих обсерваторий наблюдали прохождение мимо Земли астероида 4179 Таутатис. 8 декабря 1992 г. он был от нас на расстоянии 3,6 млн километров.

РАЗМЕРЫ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ АСТЕРОИДОВ

Чтобы узнать размер какого-либо астрономического объекта (если расстояние до него известно), необходимо измерить угол, под которым он виден с Земли. Однако астероиды не случайно так названы: их изображения действительно похожи на звёзды. Даже в крупные телескопы при отличных атмосферных условиях, применяя очень сложные, трудоёмкие методики, удаётся получить довольно нечёткие очертания дисков лишь нескольких самых крупных ас-

► Астероид Гаспра. Снимок космического аппарата «Галилео».

►► Вращение Гаспры.





тероидов. Гораздо эффективнее оказался фотометрический метод.

Существуют весьма точные приборы, измеряющие блеск, т. е. звёздную величину небесного светила. Кроме того, хорошо известна освещённость, создаваемая Солнцем на астероиде. При прочих равных условиях блеск астероида определяется площадью его диска. Необходимо, правда, знать, какую долю света отражает данная поверхность. Эта отражательная способность называется альбедо. Разработаны методы его определения по поляризации света астероидов, а также по различию яркости в видимой области спектра и в инфракрасном диапазоне. В результате измерений и расчётов получены следующие размеры некоторых из числа самых крупных астероидов.

Название астероида	Диаметр, км
2 Паллада	544
4 Веста	529
10 Гигия	431
704 Интерамния	350
52 Европа	301
511 Давида	289
65 Кибела	273
15 Эвномия	268
31 Ефросина	256
92 Ундина	250
451 Пациенция	225
48 Дорис	222
16 Психея	186

Напомним, что 1 Церера диаметром 952 км считается теперь не астероидом, а планетой-карликом. Астероидов диаметром больше 200 км не более трех десятков. Астероидов поперечником от 80 до 200 км, вероятно, около 800. С уменьшением размеров число астероидов быстро возрастает.

Фотометрические исследования показали, что астероиды сильно раз-



Астероид Ида.

Дактиль — спутник Иды.



личаются по степени черноты вещества, слагающего их поверхность. 52 Европа, в частности, имеет альбедо 0,03. Это соответствует тёмному веществу, по цвету похожему на сажу. Подобные тёмные астероиды условно называют углистыми (класс C). Астероиды другого класса условно именуются каменными (S), так как они, по-видимому, напоминают глубинные горные породы Земли. Альбедо S-астероидов значительно выше. К примеру, у 44 Ницы оно достигает 0,38. Это самый светлый астероид. Изучение спектров отражения и поляриметрии позволили выделить ещё один класс — металлические, или M-астероиды. Вероятно, на их поверхности присутствуют выходы металла, например никелистого железа, как у некоторых метеоритов.

С помощью фотометров были исследованы периодические изменения яркости астероидов. По форме кривой блеска можно судить о периоде вращения астероида и о положении оси вращения. Периоды встречаются самые разные — от нескольких часов до сотен часов. Изучение кривой блеска позволяет также сделать определённые выводы о форме астероидов. Большинство из них имеет неправильную, обломочную форму. Лишь самые крупные приближаются к шару. Некоторые из астероидов являются двойными системами или имеют небольшие спутники.



Астероид
Итокава
размером
 $0,5 \times 0,2$ км.



Детально изучить астероид можно только с близкого расстояния — с помощью космического зонда. Первая такая встреча произошла в 1991 г.,

когда американский зонд «Галилео», пролетая мимо астероида 951 Гаспра, передал его изображения на Землю. На них хорошо просматриваются угловато-сглаженная форма астероида и его кратерированная поверхность. Размеры Гаспры $18 \times 11 \times 9$ км. В 1993 г. «Галилео» прошёл мимо более крупного астероида 243 Ида ($54 \times 24 \times 15$ км). На переданных им снимках виден ещё один крошечный астероид, названный Дактилем, — по-видимому, спутник Иды. К 2010 г. космические зонды посетили уже 10 астероидов.

КОМЕТЫ

Комета — небесное тело, сравнительно с прочими, огромной величины, но редкое... сквозящее; иногда в ней заметно ядро, а окружающая среда образует как бы хвост, бороду или космы; звезда с хвостом, косматая.

В. И. Даль. Толковый словарь живого великорусского языка. 1863 г.

«При въезде на Арбатскую площадь огромное пространство звёздного тёмного неба открылось глазам Пьера. Почти в середине этого неба над Пречистенским бульваром, окружённая, обсыпанная со всех сторон звёздами, но отличаясь от всех близостью к земле, белым светом и длинным, поднятым кверху хвостом, стояла огромная яркая комета 1812 года, та самая комета, которая предвещала, как говорили, всякие ужасы и конец света...» — так, описанием знаменитой кометы 1811 г., заканчивается второй том «Войны и мира». Мы не ошиблись, именно 1811 г. Астрономы, указывая год кометы, имеют в виду не время её видимости, а год наибольшего сближения с Солнцем. А эта комета миновала перигелий ещё 12 сентября 1811 г. Но лучше всего она была видна к началу 1812 г., поэтому Лев Толстой был вправе так её назвать, тем более

что в России комету задним числом стали считать пророчицей Отечественной войны 1812 года.

До наших дней дошло старинное увлечение — «ловля» комет. Как и рыбной ловлей, ей занимаются и стар и млад, люди разного звания и профессий. Ведь астрономов на Земле всегда было мало, а комет — как рыб в океане. Первым за ловлю комет всерьёз взялся в 1756 г. парижский чертёжник Шарль Мессье, за ним — сторож Марсельской обсерватории (а позднее её директор) Жан Понс. С тех времён и по сей день кометы ищут и находят главным образом энтузиасты. Славнейшие из них — Каролина Гершель, Вильгельм Биела, Уильям Брукс, Джованни Донати, Минроу Хонда, Антонин Мркос, Уильям Бредфилд — известны каждому любителю астрономии, их имена носят открытые ими кометы. Ловцов комет можно

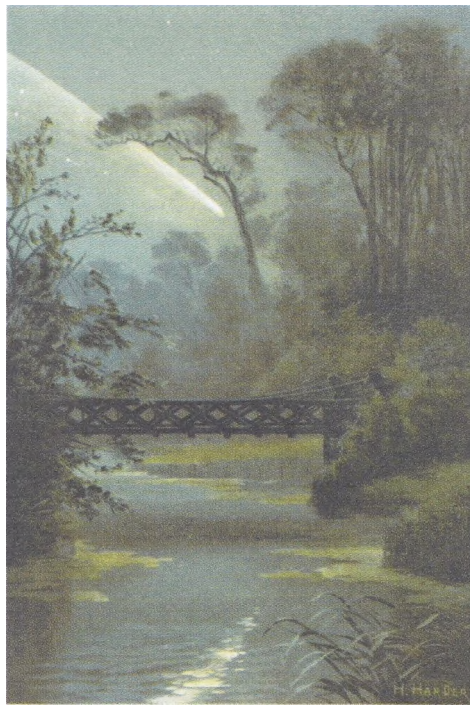


встретить в густые вечерние сумерки, в час кометного «клёва», на западной городской окраине, когда они исследуют область потухающей зари. Всё их снаряжение — любительский телескоп или бинокль и звёздный атлас. Чтобы открыть комету, в первую очередь нужно знание созвездий и (особенно!) межзвёздных туманностей, а кроме того — терпение, везение и примерно тысяча часов поиска. Именно так Мессье открыл 14 комет. Использование фотографии облегчает задачу: у некоторых астрономов «улов» комет перевалил за полсотни.

Толстовскую комету обнаружил ещё весной 1811 г. такой же «звездолов» — француз Оноре Флоржер. 26 марта, проводя очередное «прочёсывание» неба, он заметил светящееся дискообразное пятнышко со сгущением к центру и без хвоста. Именно



Комета Хейла — Боппа — ярчайшая в XX в. Наблюдалась весной 1997 г. По виду и расположению орбиты напоминала комету 1811 г., описанную А. Толстым.



Г. Гардер.
Ландшафт
с большой
кометой. XIX в.

так должна выглядеть далёкая комета. Флоржер сверился с каталогом межзвёздных туманностей, составленным Ш. Мессье: не попала ли ему одна из них? Но в этой части неба никаких «обманок» отмечено не было. К третьему вечеру пятно заметно сместилось, и стало ясно, что открыта новая комета — далёкая и медленная. Летом, по мере приближения к Солнцу, у неё начал отрастать хвост. Особенно роскошным он стал к зиме 1811/12 гг. Не очень длинный, чуть больше Ковша Большой Медведицы, он был необыкновенно красив. Но комета уже уходила от Солнца и Земли, хвост сокращался, и она таяла в пространстве. Напоследок её видели бесхвостой туманностью уже далеко за кольцом астероидов летом 1812 г., всего за неделю до Бородинского сражения. Ещё 30 веков будет лететь она прочь от Солнца и потом вспять, чтобы засиять снова где-то около 4280 г.

Аристотель ещё в IV в. до н. э. объяснял явление кометы следующим образом: лёгкая, тёплая, «сухая пнев-



ма» (газы Земли) поднимается к границам атмосферы, попадает в сферу небесного огня и воспламеняется — так образуются «хвостатые звёзды». Это явление «подлунное», атмосферное, не астрономическое. Авторитет Аристотеля был столь незыблем, что в науке вплоть до XVI столетия сохранялся этот «приземлённый» взгляд на природу комет. Поэтому астрономы кометами не занимались.

Датский астроном Тихо Браге вернул кометы в семью небесных тел. Он сравнил удалённость кометы 1577 г. с расстоянием до Луны способом базисных измерений. Этот строгий геометрический метод можно объяснить в буквальном смысле на пальцах. Выставим два указательных пальца между правым глазом и каким-нибудь далёким предметом так, чтобы предмет и дальний палец загоразивались ближним. А теперь посмотрим левым глазом: оба пальца сместились вправо — ближний больше, дальний меньше. Так же поступил Браге. «Глазами» стали две удалённые обсерватории — в Дании и Чехии, дальним фоном — звёзды, а «пальцами» — Луна и комета. При этом комета сместилась на фоне звёзд меньше, чем Луна.

Образование орбитальных кривых при сечении конуса плоскостью.

ДВИЖЕНИЕ КОМЕТ

Настанет день, когда явится человек, который покажет, в каких частях неба блуждают кометы, почему они так отличаются от планет, и откроет их природу.

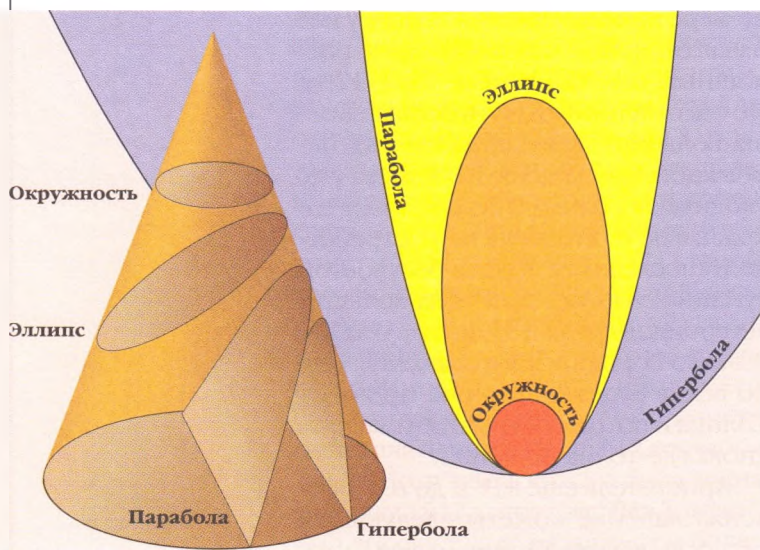
Сенека Младший.

Изыскания о природе. 63 г.

Комета 1680 г. вернула Исаака Ньютона к работе над законом тяготения. Годом ранее он доказал, что если некоему пробному телу придавать в поле тяготения Солнца разные начальные скорости в различных направлениях, то орбита, по которой будет дальше двигаться тело, окажется одной из четырёх форм: окружностью, эллипсом, параболой или гиперболой. Эти кривые называются коническими сечениями, потому что, рассекая конус плоскостью под разными углами, мы всегда получим одну из названных кривых. При этом если рассечь конус наобум, наверняка выйдет либо замкнутая фигура — эллипс, либо разомкнутая кривая — гипербола. Для того же чтобы получилась окружность или парабола, нужно плоскость сечения ориентировать определённым образом. Можно сказать, что окружность — это идеально круглый эллипс, а парабола — эллипс, вытянутый в бесконечность. Окружность и парабола как орбиты в чистом виде не встречаются, их используют в расчётах как приближения.

Итак, есть эллипсы — по ним движутся планеты, их спутники, может, ещё что-то. Есть гиперболы — орбиты «одноразового использования»: прилетело что-нибудь откуда-то из межзвёздья к Солнцу, обернулось и улетело обратно. Какие же пути выбирают кометы? Со времён Тихо Браге это оставалось загадкой.

И вот в ноябре 1680 г. комета приходит как по заказу. Профессор Кембриджского университета Ньютон организует толковых студентов на





утренние наблюдения. Сам по точкам вычерчивает её пространственный путь. 12 ноября комета пересекает орбиту Земли; 19 ноября — летит почти прямо на Солнце и вскоре скрывается в солнечных лучах. Теперь её ищут в лучах зари и вечером, и утром — куда пойдёт дальше? 12 декабря комета вновь засияла на утреннем небе и летит, словно отброшенная назад на 180° . Её хвост, по измерениям Ньютона, стал длиннее радиуса орбиты Земли. И пока при дворе Людовика XIV решают проблему, за кем из Бурбонов прилетела комета, Ньютон лично замеряет положение уходящей кометы: дальние точки — самые важные для надёжного построения орбиты. По точкам получалась парабола. Но в реальности это мог быть либо отрезок сильно вытянутого эллипса, либо очень крутая гипербола. Сам Ньютон склонялся к тому, что комета ушла по эллипсу, а значит, когда-то должна вернуться.

Через четыре года судьба привела в дом Ньютона Эдмунда Галлея, астронома, математика, капитана дальнего плавания и ловца комет.

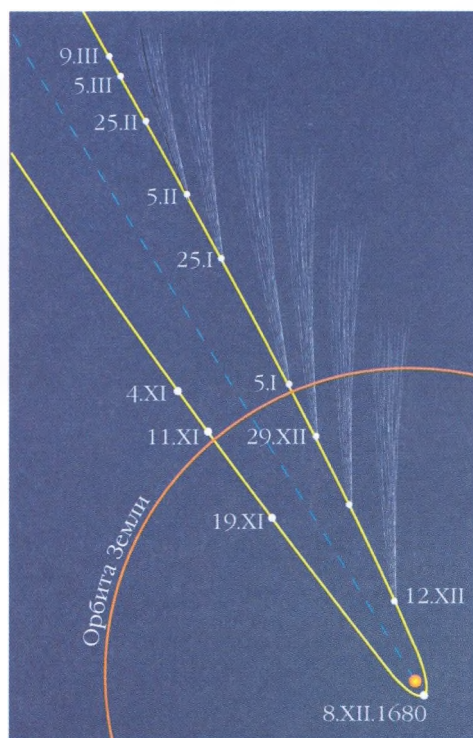
— Сэр, по каким орбитам движутся кометы, если на них распространяется притяжение Солнца? — спросил Галлей.

— По эллипсам, близким к параболам, — ответил Ньютон и положил на стол чертёж.

— Каковы же периоды их обращения?

— А это ещё предстоит узнать, — сказал Исаак Ньютон.

По совету Ньютона из сотен кометных наблюдений разных лет Галлей выбрал две дюжины таких, для которых можно было построить хоть приблизительную орбиту с допущением (для простоты), что все кометы движутся по параболам. Вычислить 24 орбиты вручную, без компьютера, на основе подчас неаккуратных наблюдений — это многолетний труд. И вот (к счастью!) три комет-



Орбита кометы по рисунку Исаака Ньютона.

ные будто бы парабола — 1531, 1607 и 1682 гг. — почти ложатся в пространстве Солнечной системы одна в другую. То есть это не три, а одно небесное тело, возвращающееся каждые 75—76 лет! Так была открыта первая периодическая комета — комета Галлея. Галлей предсказал её новое появление в 1758 г., а поймали её немецкий астроном-любитель Георг Палич и Шарль Мессье. Это был триумф закона тяготения и начало строгого «паспортного режима» для комет.

С древнейших времён до наших дней замечено и описано уже около 4000 комет. Результаты вычисления их орбит таковы. Большинство комет движется по эллипсам, умеренно или сильно вытянутым. Самым коротким маршрутом ходит комета Энке — от орбиты Меркурия до Юпитера и обратно за 3,3 года. Самая далёкая из тех, что наблюдались дважды, — комета, открытая в 1788 г. Каролиной Гершель и вернувшаяся через 154 года с расстояния 57 а. е. В 1914 г. на поби-



Фрагмент фрески Джотто, изображающей поклонение волхвов (капелла дель Арена в Падуе, Италия). Вифлеемскую звезду художник изобразил в виде кометы. Это комета Галлея, которую Джотто видел в 1301 г.

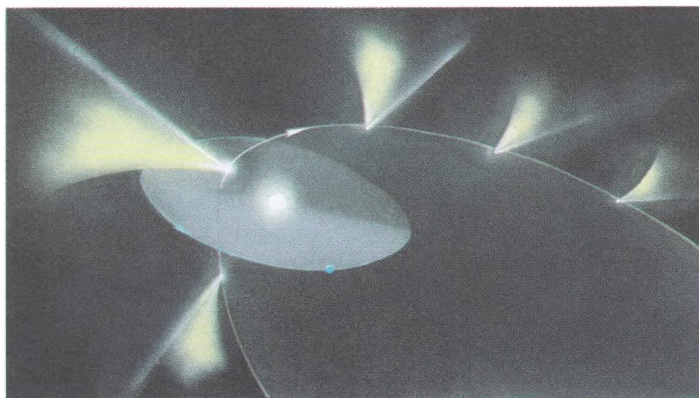


Фрагмент гобелена из Байё (Франция). На нём изображена комета Галлея, появлявшаяся в 1066 г., в год битвы при Гастингсе. Тогда нормандский герцог Вильгельм разгромил войско англосаксонского короля Гарольда II и занял английский трон.

тие рекорда дальности пошла комета Делавана. Она удалится на 170 000 а. е. и «финиширует» через 24 млн лет.

Хотя законы, управляющие движением планет и комет, одни и те же, их поведение и области обитания сильно различаются. Орбиты планет — эллипсы, близкие к окружностям. Орбиты комет — вытянутые эллипсы, почти параболы. Планеты движутся в плоскости тонкого диска в одном направлении. Пути комет — это настоящий клубок орбит, ориентированных в пространстве без порядка. Кометы ходят по ним одни — против, другие — по часовой стрелке (обратное движение).

Движение кометы.



Заметим, что две столь же несхожие звёздные «народности» населяют Галактику. Одни звёзды (и Солнце в их числе) живут в галактическом диске. Другие, более древние, с несколько иным химическим составом, образуют клубок вокруг центра Галактики и снуют вглубь-наружу, туда-обратно по вытянутым эллипсам. Странное сходство, заслуживающее размышления на досуге...

Движение планет устойчиво, они не меняют заметно своих орбит. Кометы, регулярно пересекая дороги больших планет, меняют орбиты. Обычно изменения незначительны, как у кометы Галлея, но если странница пролетит мимо гиганта ближе чем в полумиллиарде километров, величина и направление её орбиты могут измениться до неузнаваемости.

Особенно сильно влияние Юпитера. Набрасывая гравитационное лассо, он «одомашнивает» кометы, переводит их на короткие орбиты — от Солнца до Юпитера и обратно. Сегодня в табуна Юпитера около сотни хвостов. По десятку комет держат Сатурн и Нептун. Три кометы пасёт Уран. Есть ещё подозрительное стадо, гуляющее до границы 50—60 а. е. Стадо есть, а пастуха нет...



Изменение кометной орбиты под действием тяготения Юпитера. Как видно из рисунка, измениться может не только размер орбиты, но и направление движения кометы.

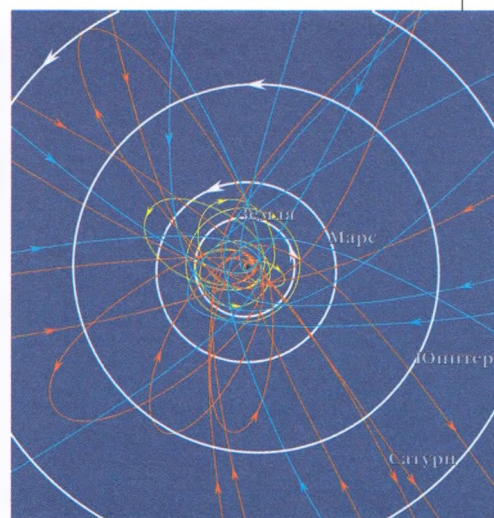


Но гиганты слепы, как Полифем. Порой и собственную комету прогонит навсегда, а иногда так поддаст пробегающей мимо, что та переходит на орбиту большей дальности, а то и вовсе бежит от Солнца по гиперболе — прочь и навсегда.

КОМЕТА КРУПНЫМ ПЛАНОМ

Кометы — самые протяжённые тела Солнечной системы. У кометы 1811 г. одна голова по объёму в шесть — восемь раз превосходила Солнце. У кометы 1882 г. хвост был больше, чем расстояние от Солнца до Юпитера. Но при всех своих невообразимых размерах хвосты, состоящие из плазмы, газа и дыма, настолько разрежен-

► Орбиты некоторых комет, спроецированные на плоскость эклиптики. Жёлтым обозначены орбиты ближайших комет (семейства Юпитера и Сатурна), красным — орбиты комет с периодом больше 20 лет, голубым — орбиты, мало отличающиеся от параболы, т. е. кометы с неопределённо большим периодом.



ны, что на Земле такая среда считается вакуумом. Кометы — это видимое ничто. Но в сердцевине этого «ничто» есть нечто — твёрдое ядро кометы, с которого всё начинается.

Перенесёмся мысленно к ядру кометы, спешащей к Солнцу, и пройдем с ней часть пути. Пусть это будет ядро кометы Галлея — знаменитый «башмак», каким его увидели на снимках «Веги» и «Джотто» в 1986 г.

Ядро состоит из льдов, внутри уплотнённых, а снаружи пористых, губчатых, пушистых. Пока до Солнца далеко, комета, замороженная до -260°C , спит глубоким сном: ни головы, ни хвоста.

Основу льдов (более 80 %) составляет вода, остальное — твёрдая углекислота, именуемая сухим льдом, метановый, аммиачный лёд и другие



Ядра комет Галлея, Борелли, Вилд 2, Темпель 1, снятые различными космическими зондами.



Комета Хиякутаки была видна весной 1996 г. Из-за близости к Земле комета передвигалась по созвездиям быстрее Луны.

замороженные газы. Вещество ядра достойно внимательнейшего изучения. В этом холодильнике могли сохраниться реликтовые органические вещества — первые «кирпичики», из которых сложилась жизнь на Земле. Кометный лёд — грязноватый, перемешан с пылью и каменистым веществом. Когда прогреет, лёд начнёт испаряться, и, как на городских сугробах, на поверхности ядра останется корка загрязнения.

Корковая пыль в тысячи раз мельче той, что летом садится на подоконник. Пылинки не рассмотреть даже в лупу. Их триллион в кубическом миллиметре. Попадают и частицы покрупнее — песчинки, камешки. Из такого вот космического праха, из кометной пыли, камней и льдов, возможно, слепились и выплавились Земля и другие планеты почти 5 млрд лет назад.

На расстоянии 4,5 а. е. от Солнца, когда обогрев кометы достигает 1/20 нагрева Земли и температура

верхнего слоя льда поднимается до -140°C , открытые льды начинают испаряться. Не таять, а именно испаряться. Так улетучивается на холоде лёд из замёрзшего белья, так же в морозный день без таяния истончаются сугробы. Переход вещества из твёрдого состояния в газообразное, минуя стадию жидкости, называется *возгонкой*. День за днём процесс идёт всё заметнее. Сначала испаряются метан, аммиак, водород, циан, образуя прозрачную атмосферу — голову кометы. По мере приближения к орбите Марса возгоняется углекислота. Последней начинает испаряться вода, требующая большего тепла.

Атмосферные газы кометы не остаются неизменными. Кванты солнечного света, налетая на молекулы газа, ионизируют вещество, выбивая из атомов электроны. Но от Солнца идёт не только свет, а ещё и солнечный ветер.

Это поток заряженных частиц, которые разбегаются во все стороны от дневного светила и несут с собой обрывки солнечного магнитного поля. Налетая на голову кометы, ветер подхватывает магнитными полями, как сетями, ионы кометного газа и мчит их прочь от Солнца на скорости 500—1000 км/с, образуя длинный и прямой, как луч прожектора, плазменный хвост. На незаряженные частицы газа солнечный ветер не действует. Эти частицы задерживаются у ядра, пополняя голову кометы.

Наконец из-под коричневой корки начинают бить газовые фонтаны-гейзеры. Атмосфера всё шире, голова всё больше, и вот уже заметно её холодное люминесцентное свечение. Кометный газ светится так же, как краски-люминофоры и как разреженный газ в лампах дневного света.

Даже слабый напор газа подхватывает и вздымает ввысь громадные султаны пыли. В это время для земного наблюдателя голова кометы становится ярче, потому что пылевой



туман отражает больше света, чем его излучают холодные прозрачные газы. Кванты света налетают на пылинки, и хотя их давление на пыль не так энергично и эффективно, как действие солнечного ветра на «окрошку» из атомов и молекул, но свет тоже гонит пылинки прочь от Солнца. Они образуют уже другой хвост — не прямой, как меч, а изогнутый, как сабля: пыль уходит из головы медленнее, и хвост волочится за ней по орбите, изгибаясь.

Вид комет разнообразен, но, рассматривая их на фотографиях или в натуре, всегда легко заметить: у этой хвост из ионов, у этой — пылевой, а у этой оба хвоста. Есть и другие фазоны хвостов, есть даже «бороды», но обо всём не расскажешь.

Войдя внутрь орбиты Земли, комета попадает в область сильного нагрева. Теперь гейзеры газа и пыли льются непрерывными струями в сторону Солнца. Ядро может терять 30—40 т пара каждую секунду! Но самое впечатляющее — это подкорковые



Комета Макнота C/2006 P1, заслужившая титул Большой кометы 2007 г.

взрывы. Как будто рвутся глубинные мины непонятной природы. Какие же силы и каким образом вдруг испаряют на глубине объём льда в пять 16-этажных зданий и выбрасывают огромное количество газа на 20—30 тыс. километров, откуда и ядро-то еле видно? Это главная загадка комет.

Очень близкое прохождение около Солнца грозит ядру развалом, разрывом на части, как уже не раз бывало. Но если комета благополучно миновала перигелий, она, побушевав ещё немного, «успокаивается» и застывает до очередной встречи с Солнцем.

◀ Комета Веста 1976 г. Одна из ярких комет конца XX в.



КОМЕТА УМЕРЛА. ДА ЗДРАВСТВУЕТ КОМЕТА!

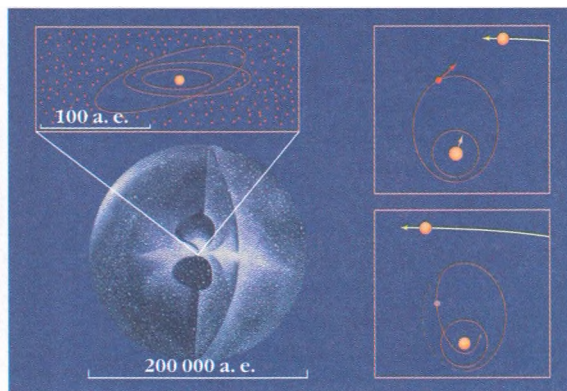
Как шелковичные черви выпус-
канием паутинки, так и кометы
выпусканием хвоста истощают-
ся и погибают.

И. Кеплер. Тайна Вселенной

Комета Галлея «обтаивает» на каждом витке метров на 200. Когда около 100 тыс. лет назад Нептун её захватил, это было солидное космическое



Комета Беннета.



Кометное облако Оорта. Слева сверху — его центральная часть. Два рисунка справа показывают, как кометное ядро может изменить свою орбиту под действием тяготения проходящей мимо звезды.

тело диаметром несколько сот километров. А сейчас остался окатыш, которого едва хватит до конца III тысячелетия.

Кроме испарения кометы крошатся. Взрывы выбрасывают из ядра сколы льда, смёрзшиеся глыбы, камешки, пыль. Этот мусор продолжает летать по орбите кометы, постепенно растягиваясь, как бегуны по кругу: самые быстрые догоняют отстающих. Так, ещё при живой комете на её орбите образуется тор из метеорного вещества. Дважды в году, 4 мая и 22 октября, Земля сближается с орбитой кометы Галлея и несколько суток движется внутри этого тора. Кометные соринки врезаются в атмосферу и сгорают, вызывая явление метеорного потока. Наконец, хорошо изучены случаи, когда ядро разваливается на части под действием притяжения Солнца или Юпитера при значительных сближениях с ними.

Бурная жизнь комет вблизи Солнца в десятки тысяч раз короче жизни Земли или Солнечной системы. Они как мотыльки-однодневки рядом с людьми: вчера одни, а сегодня уже новые. Станный, однако, этот «мотылёк»: его вещество — древнейшее в планетной системе.

В сущности, что мешает комете жить? Близость Солнца и планеты-гиганты. Значит, если льдину поместить подальше, чтобы в перигелии она не подходила к планетным орбитам, скажем, ближе чем на 50 а. е., а в афелии не забиралась в сферу притяжения соседних звёзд (200 000 а. е.), тогда комета могла бы существовать миллиарды лет.

Это далёкое царство Мороза (-270°C), где живёт около ста миллиардов Снегурочек-невидимок, называется *облаком Оорта*. Они тоже солнечная семья, их тоже тянет к Солнцу, но они живут по мудрой кометной пословице: «В десять раз дальше от Солнца — в сто раз безопаснее». Только изредка возмущающее сближение какой-нибудь звезды с Солнечной системой приводит к изменению их орбит, и кого-то случай направляет прямо в солнечный жар, в планетные жернова и... в сети ловцов комет.

На облако Оорта можно взглянуть ещё и так: это музей стройматериалов, использовавшихся миллиарды лет назад при строительстве планет. Экспонаты хранятся в идеальном морозильнике, можно сказать, в вакуумной упаковке. Музей работает без выходов.



МЕТЕОРЫ И МЕТЕОРИТЫ

9 октября 1992 г. Америка жила ожиданием Колумбова дня: приближалась 500-я годовщина открытия Нового Света великим мореплавателем. 18-летняя Мишель Напп из маленького городка Пикскилл (штат Нью-Йорк) вечером смотрела телевизор. Вдруг она услышала громкий шум на улице. Девушка испугалась и вызвала по телефону полицию, которая установила, что на этот раз «нарушителем» явился космический странник: рядом с повреждённой ударом машиной Наппов лежал оплавленный камень весом почти 9 кг.

Этот случай представляет собой скорее исключение, чем правило: падающие с неба камни или куски железа — их называют *метеоритами* — очень редко причиняют вред людям. Достоверно зафиксировано только два случая попадания метеоритов в людей (оба без серьёзных последствий), ничтожен и причинённый ими материальный ущерб. Ничего мистического в этом нет: падение метеорита — явление редкое и может произойти в любой точке земного шара. Вот и падают небесные странники в океаны, на которые приходится более 2/3 земной поверхности, в обширные безлюдные пустыни, леса, полярные районы — в полном соответствии с законами математической статистики. Поэтому любой из нас не только практически не рискует получить удар метеорита, но даже имеет очень мало шансов увидеть его падение.

Впрочем, наблюдать прибытие на Землю космического вещества может каждый. Достаточно в ясную ночь провести хотя бы час, всматриваясь в звёздное небо, и вы наверняка заметите огненную черту, прорезающую небосвод. Это — падающая звезда, или *метеор*. Иногда их бывает много — целые звёздные ливни. Но сколько бы их ни пролетело, вид

звёздного неба не изменится: падающие звёзды не имеют отношения к звёздам настоящим.

В пространстве, окружающем нашу планету, движется множество твёрдых тел разных размеров — от пылинок до глыб поперечником в десятки и сотни метров. Чем больше размер тел, тем реже они встречаются. Поэтому пылинки сталкиваются с Землёй ежедневно и ежечасно, а глыбы — раз в сотни и даже тысячи лет.

Различны и сопровождающие эти столкновения эффекты. Тело массой в доли грамма, вторгаясь в земную атмосферу с огромной скоростью (десятки километров в секунду), раскаляется от трения о воздух и целиком сгорает на высоте 80—100 км. Наблюдатель на Земле видит в этот момент метеор. Если же в атмосферу влетает кусок побольше и притом не с самой большой скоростью, атмосфера успевает «притормозить» его, прежде чем он полностью сгорит, и его остаток упадёт на поверхность Земли. Это и есть метеорит. Падение метеорита сопровождается полётом по небу огненного шара и громоподобными звуками. Наконец, когда масса влетевшего тела ещё больше, атмосфера уже не может погасить всю его скорость, и оно врежется в поверхность Земли, оставляя на ней космический шрам — метеоритный кратер или воронку.



Фотография метеора, полученная неподвижной камерой при длительной экспозиции. Видны суточные дуги звёзд.



Вся поверхность Луны буквально изрыта такими кратерами — следами метеоритной бомбардировки, которой Луна подвергалась в прошлом. Земля тоже получала космические удары. Их следы (иногда их называют *астроблемы* — «звёздные раны») остались на поверхности нашей планеты. Наиболее известный из них — кратер в Аризоне — имеет в поперечнике более 1 км и образовался 50 тыс. лет назад. Сухой климат пустыни обеспечил его хорошую сохранность. Внешние следы других космических шрамов в значительной степени стёрты последующими геологическими процессами. Одно из крупнейших известных ныне таких образований находится на севере Сибири. Это Попигайский метеоритный кратер диаметром 100 км.

Что же представляют собой частицы твёрдого вещества, поступающие из космоса на Землю, и откуда они берутся?



Метеорный дождь
Леониды
1833 г.



Гравюра Альбрехта Дюрера, изображающая Апокалипсис. Ниспадающие с неба звёзды как бы истекают из одного центра.

МЕТЕОРНЫЕ ПОТОКИ

Уже давно люди заметили, что в отдельные ночи появлялось очень много метеоров. Это были настоящие звездопады, повергавшие очевидцев в изумление, а порой и в ужас. В ноябре 1799 г. такой звездопад наблюдал в Южной Америке известный немецкий путешественник и учёный Александр Гумбольдт. Он обратил внимание на то, что метеоры двигались по небу не как попало, а словно бы истекали из одной области на небе, т. е. обратные продолжения этих огненных стрел пересекались в одной точке. Эту точку стали именовать *радиантом* метеорного потока.

Этот звёздный дождь повторился в ноябре 1833 и в ноябре 1866 г., причём радиант не изменил своего положения — он находился в созвездии Льва, отчего и весь метеорный поток получил название Леониды.

Другие метеорные потоки не дают такого колоссального количества метеоров, как Леониды, зато повторяются они каждый год. Например, в августе действует метеорный поток Персеиды, радиант которого находится в созвездии Персей.

Что же заставляет метеоры потока двигаться по небу таким образом?

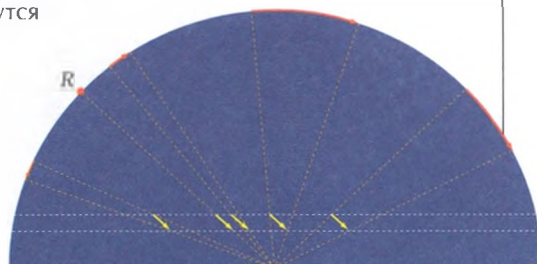
Оказывается, принадлежащие одному потоку частицы летят в атмосфере по параллельным траекториям, а в перспективе мы видим их как бы исходящими из одной точки. Точно так же сходятся к горизонту железнодорожные рельсы, если смотреть вдоль них. Параллельность путей метеоров потока и установленное позже равенство их скоростей позволили считать, что все они движутся в Солнечной системе по весьма близким орбитам. В 1862 г. итальянский астроном Джованни Скиапарелли установил, что орбита Персеид практически совпадает с орбитой одной из известных комет. Так была открыта связь метеорных потоков с комета-



Частицы одного метеорного потока движутся по параллельным траекториям, но в перспективе кажутся нам исходящими из одной точки — радианта (R).



Радант метеорного дождя Дракониды 1947 г.



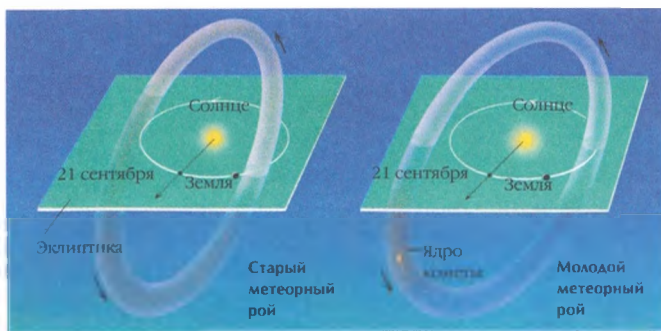
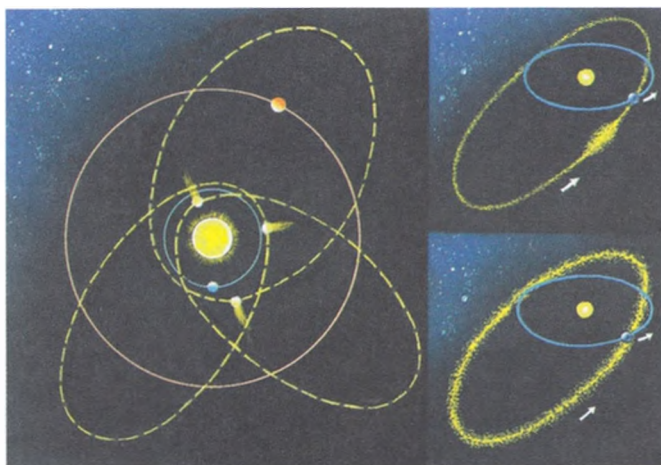
ми. Ядра комет состоят из льдов с вкрапленными в них твёрдыми частицами. При сближении с Солнцем льды испаряются и покидают ядро, увлекая за собой твёрдые пылинки и песчинки. Самые мелкие из них солнечный ветер уносит в хвост кометы, а затем и вообще выметает за пределы планетной системы. Однако более тяжёлые частицы некоторое время окружают облаком ядро кометы, а потом рассредоточиваются вдоль её орбиты, образуя что-то вроде бублика — тора, осью которого является кометная орбита. Если орбита Земли пересекается с этим тором, частицы налетают на планету, порождая явление метеорного потока. Более того, ровно через год, когда Земля вернётся к этому месту своей орбиты и снова окунётся в рой мелких частиц, метеорный поток повторится — в те же даты, что и в прошлом году.

Мы уже знаем, что бывают потоки, дающие приблизительно одинаковое число метеоров каждый год (Персеиды), и бывают такие, которые дают метеорные дожди через длительные промежутки времени (Леониды). Эта разница связана с возрастом потока. Если поток молодой, составляющие его частицы не успели рассредоточиться по орбите и плотным облаком окружают ядро. Когда Земля погружается в эту плотную часть роя частиц, происходит метеорный дождь. В последующие годы она будет пересекать бедные частицами участки, и метеоров будет мало. Но настанет время,

когда, двигаясь по орбите, плотная часть снова сближится с Землёй, и тогда метеорный дождь повторится.

Кроме метеоров, принадлежащих потокам, наблюдаются и другие, потоков не образующие. Их называют спорадическими. По своему происхождению они схожи с падающими на Землю метеоритами.

Метеорный рой образуется из частиц, выброшенных кометным ядром и рассеявшихся вдоль орбиты кометы.



Старый и молодой метеорный рой.



МЕТЕОРИТЫ: ПАДЕНИЯ И НАХОДКИ

Нужно сказать, что научный мир вплоть до конца XVIII в. относился скептически к самой возможности падения с неба камней и кусков железа. Сообщения о подобных фактах рассматривались учёными как проявления суеверий, ведь тогда ещё не было известно никаких небесных тел, обломки которых могли бы падать на Землю. Например, первые астероиды — малые планеты — были открыты только в начале XIX в.

Первая научная работа, утверждавшая космическое происхождение метеоритов, появилась в 1794 г. Её автор, немецкий физик Эрнст Хладни,

сумел дать единое объяснение трём загадочным явлениям: пролётам по небу огненных шаров, падениям на Землю оплавленных кусков железа и камня после пролётов и находкам странных оплавленных железных глыб в разных местах Земли. Согласно Хладни, всё это связано с поступлением на Землю космического вещества.

Кстати сказать, одной из таких необычных железных глыб была многопудовая «крица», вывезенная российским академиком Петром Симоном Палласом из Сибири и положившая начало национальной коллекции метеоритов России. Эта железная глыба со включёнными в неё зёрнами минерала оливина получила имя «Палласово железо» и

ТУНГУССКИЙ МЕТЕОРИТ

Падение Тунгусского метеорита произошло 30 июня 1908 г. Оно сопровождалось явлениями, которые указывали на очень мощное выделение энергии. Огненный шар, видимый на территории протяжённостью в сотни километров; мощные громовые раскаты, воздушная волна, дважды обогнувшая земной шар и зарегистрированная барометрами во многих странах; наконец, небольшое землетрясение, отмеченное сейсмографом в Иркутске, — всё это говорило о чрезвычайном характере космической катастрофы. Падение произошло в глухой тайге в бассейне реки Подкаменная Тунгуска, в 100 км от ближайшего (очень маленького) населённого пункта, и только в 1927 г. первые исследователи сумели туда добраться. Им открылась потрясающая картина: почти все деревья на площади поперечником около 40 км были повалены, причём корни их показывали в одно место. А в эпицентре, где следовало бы ожидать наиболее сильных разрушений, стоял мёртвый «телеграфный» лес: голые прямые стволы с начисто обрубленными ветками. Ни первая, ни многочисленные последующие экспедиции не смогли найти ни одного куска Тунгусского метеорита. И что ещё более удивительно, на месте падения нет метеоритного кратера.

Во времена первых тунгусских экспедиций, руководимых энтузиастом метеоритики Леонидом Алек-

сеевичем Куликом, ещё мало было известно о том, как происходит удар очень крупного метеорита о поверхность планеты. Вулканическая гипотеза происхождения лунных кратеров имела большее число сторонников, чем общепризнанная ныне ударнометеоритная. А в США бурили дно Аризонского метеоритного кратера, надеясь обнаружить многотонную металлическую глыбу. Сегодня ясно, что мгновенная остановка в грунте огромного тела переводит в тепло колоссальную энергию его движения, происходят испарение «ударника» и самый настоящий взрыв, порождающий круглый метеоритный кратер. При этом крупных осколков метеорита может и не сохраниться. Но ведь на Тунгуске и кратера тоже нет!

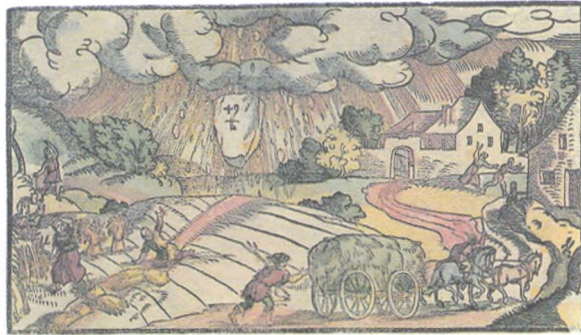
Теперь мы знаем, что даже весьма крупные космические тела, влетающие в атмосферу Земли, не всегда достигают её поверхности. В 1970—1980-х гг. в США действовала так называемая Прерийная сеть фотографических камер, призванная фотографировать падения метеоритов. За десять лет работы удалось зафиксировать только одно падение — метеорит Лост-Сити (1970 г.). Однако, к удивлению специалистов, на плёнках были отмечены и более яркие болиды, чем тот, что закончился падением метеорита. И всё же после них на Землю ничего не упало — всё вещество «расточилось» в атмосфере.

Большинство специалистов до сих пор считают Тунгусскую проблему нерешённой. Самой вероятной



впоследствии дала название целому классу железо-каменных метеоритов — *палласиты*.

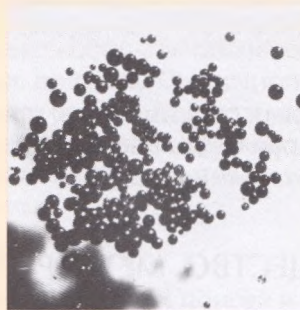
Этот метеорит никто не наблюдал при падении. Его космическая природа установлена на основании изучения вещества. Такие метеориты называют *находками*, и они составляют около половины мировой коллекции метеоритов. Другая половина — *падения*, «свежие» метеориты, поднятые вскоре после того, как они упали на Землю. К ним относится метеорит Пикскилл, с которого начался наш рассказ о космических пришельцах. Падения имеют для специалистов больший интерес, чем находки: о них можно собрать некоторую астрономическую информацию, а вещество их не изменено земными факторами.



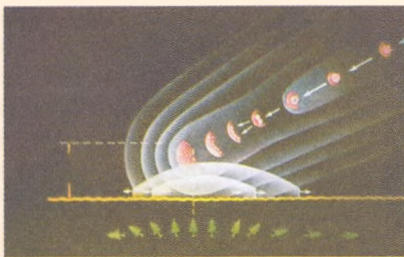
Метеоритам принято давать имена по географическим названиям мест, соседствующих с местом падения или находки. Чаще всего это название ближайшего населённого пункта (например, Пикскилл), но выдающимся метеоритам присваивают более общие имена. Два самых

Старинная гравюра, изображающая падение метеорита Нидеррайзен. Германия. 1581 г.

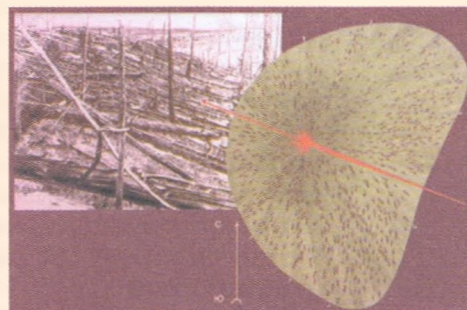
гипотезой остаётся предположение, что Тунгусское тело представляло собой ядро или часть ядра небольшой старой кометы. Это ядро много раз прошло мимо Солнца и потеряло почти все свои льды. Остались слипшиеся воедино твёрдые частицы, не очень прочно сцепленные между собой. Влетев в атмосферу Земли, под давлением набегающего потока воздуха тело стало быстро разрушаться. На высоте в несколько километров всё оно рассыпалось в пыль, а отделившаяся ударная волна произвела те разрушения, которые зафиксированы на месте падения: она повалила деревья там, где ударила наклонно, и срубила с них сучья там, где ударила вертикально, т. е. в эпицентре.



Мелкие шарики (диаметром не более 1 мм) из района падения крупного метеорита. Это расплавленное трением о воздух и сдутое набегающим потоком вещество метеорита. Такие же шарики находят в почвах и торфах на месте падения Тунгусского метеорита.



Воздушная волна при падении Тунгусского метеорита. Она повалила деревья там, где падала наклонно. В эпицентре удар был вертикальный и срубил сучья с деревьев, оставив стоячий «телеграфный лес».



Вывал леса на месте падения Тунгусского метеорита. Фотография сделана во время одной из первых экспедиций Л. А. Кулика, карта составлена значительно позже. Ось симметрии зоны вывала соответствует направлению траектории тела. Стрелки показывают направление поваленных деревьев.



СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ МЕТЕОРИТНЫЙ ДОЖДЬ

12 февраля 1947 г. на Дальнем Востоке, в западных отрогах Сихотэ-Алинского хребта, в уссурийскую тайгу упало около 100 т космического вещества. Эта масса состояла из смеси железоникелевых кристаллов разного размера, не очень прочно сцепленных между собой. В воздухе она распалась на тысячи кусков, и на землю обрушился настоящий железный дождь. Наиболее крупные обломки весили по несколько тонн. Достигнув земли с большой скоростью, они ударились о грунт и образовали более 100 кратеров и воронок. Самый большой кратер имел диаметр 26,5 м и глубину 6 м. При ударе эти глыбы ещё раз разбились на сильно деформированные осколки. Более мелкие продукты атмосферного дробления полностью потеряли в воз-

духе свою космическую скорость и упали на снег в виде оплавленных синеватых кусков металла, сохраняя все особенности своей структуры. Их до сих пор находят неглубоко в почве в районе падения.



П. Медведев. Падение Сихотэ-Алинского метеорита.



Образцы Сихотэ-Алинского железного метеорита до сих пор находят в уссурийской тайге. Поверхность каждого индивидуального образца покрыта регмаглиптовым рельефом, который образовался при движении в атмосфере с огромной скоростью.



Каменный метеорит покрыт чёрной корой плавления.



Внутреннее строение каменного метеорита. Мелкие округлые зёрна называются хондрами.

крупных падения XX в. произошли на территории России: Тунгусское и Сихотэ-Алинское.

ВЕЩЕСТВО МЕТЕОРИТОВ

Метеориты делятся на три больших класса: железные, каменные и железокаменные.

Железные метеориты состоят в основном из никелистого железа. В земных горных породах естественный сплав железа с никелем не встречается, так что присутствие никеля в кусках железа указывает на его космическое (или промышленное!) происхождение.

Включения никелистого железа есть в большинстве *каменных* метеоритов, поэтому космические камни, как правило, тяжелее земных. Главные же их минералы — силикаты (оливины и пироксены). Характерным признаком основного типа каменных метеоритов — хондритов — яв-

ляется наличие внутри них округлых образований — хондр. Хондры состоят из того же вещества, что и весь остальной метеорит, но выделяются на его срезе в виде отдельных зёрнышек. Их происхождение пока не вполне ясно.

Третий класс — *железоскаменные* метеориты — это куски никелистого железа с вкраплениями зёрен каменных минералов.

Вообще метеориты состоят из тех же элементов, что и земные горные породы, но сочетания этих элементов, т. е. минералы, могут быть и такими, какие на Земле не встречаются. Это связано с особенностями образования тел, породивших метеориты.

Среди падений преобладают каменные метеориты. Значит, таких кусков больше летает в космосе. Что касается находок, то здесь преобладают железные метеориты: они прочнее, лучше сохраняются в земных условиях, резче выделяются на фоне земных горных пород.

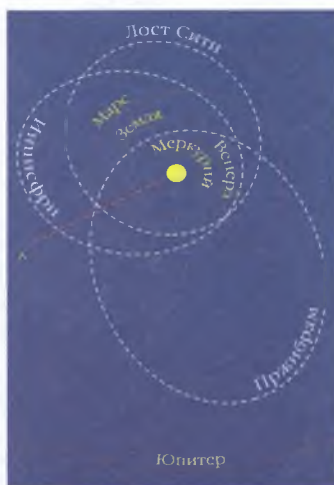


ПРОИСХОЖДЕНИЕ МЕТЕОРИТОВ И ИХ НАУЧНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Метеориты являются осколками астероидов, которые населяют в основном зону между орбитами Марса и Юпитера. Астероиды сталкиваются, дробятся, изменяют орбиты друг друга, так что некоторые осколки иногда пересекают орбиту Земли. Эти осколки и дают метеориты.

Организовать инструментальные наблюдения падений метеоритов, с помощью которых можно с удовлетворительной точностью вычислить их орбиты, очень трудно: само явление очень редкое и непредсказуемое. В нескольких случаях это удалось сделать, и все орбиты оказались типично астероидными. В 2008 г. было получено прямое доказательство астероидного происхождения метеоритов: наземными наблюдениями был обнаружен маленький астероид очень близко от Земли, вычислено время и место его встречи с Землёй. В этом месте был сфотографирован пылевой след болида, а затем группа поиска обнаружила и несколько экземпляров раздробившегося метеорита.

Долгое время метеориты оставались единственными образцами внеземного вещества. Но и сегодня, когда вещество других планет и их спутников становится доступным лабораторному исследованию, метеориты не потеряли своего значения. Вещество, составляющее крупные тела Солнечной системы, подверглось длительному преобразованию: оно плавилось, разделялось на фракции, вновь застыло, образуя минералы, не имеющие



Орбиты метеоритов, сфотографированных при падении. Все орбиты — астероидного типа.

Внутреннее строение железного метеорита. Такой рисунок железоникелевых кристаллов, характерный только для метеоритов, называют видманштеттеновыми фигурами.



уже ничего общего с тем веществом, из которого всё образовалось. Метеориты же являются обломками мелких тел, которые такой сложной истории не прошли. Один из типов метеоритов — углистые хондриты — вообще представляет собой слабоизменённое первичное вещество Солнечной системы. Изучая его, специалисты узнают, из чего образовались крупные тела Солнечной системы, в том числе и наша планета Земля.

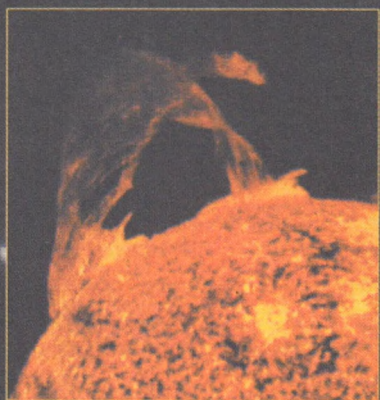
...

Наблюдения метеоров, поиски и сбор метеоритов до сих пор остаются полем деятельности любителей астрономии. Они проверяют сообщения о возможных падениях метеоритов, собирают оставшиеся ещё в грунте фрагменты метеоритных дождей, проводят наблюдения метеоров, требующие массовости и повторяемости. Сейчас кроме метеоритных коллекций, принадлежащих научным учреждениям, имеются частные коллекции, порой весьма обширные.



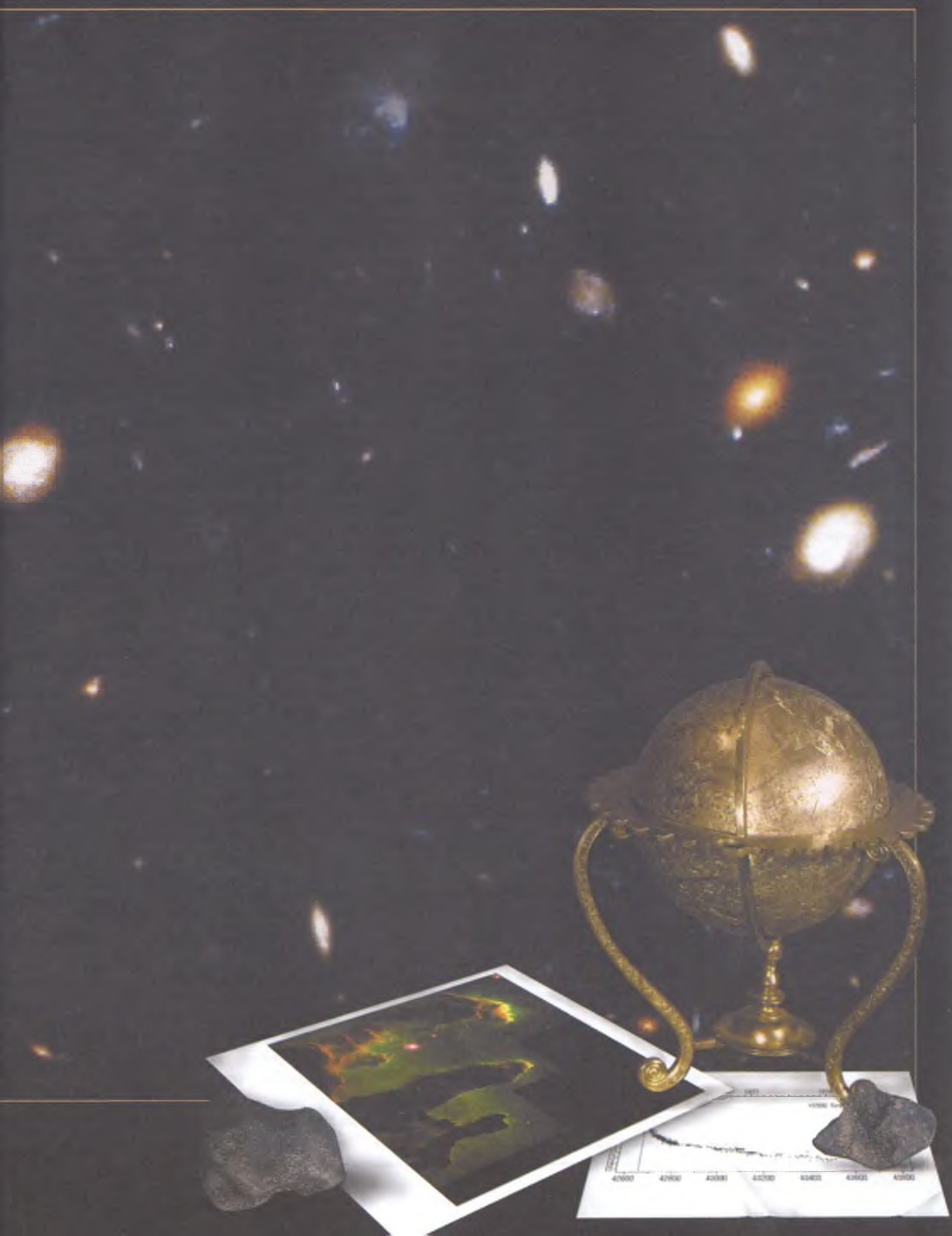
Железокаменный метеорит — железоникелевая масса с вкраплениями силикатного минерала оливина.





ВСЕЛЕННАЯ В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ







ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ

Звёздное небо над головой долгое время было для человека символом вечности и неизменности. Лишь в Новое время люди осознали, что «неподвижные» звёзды на самом деле движутся, причём с огромными скоростями. В XX в. человечество свыклось с ещё более странным фактом: расстояния между звёздными системами — галактиками, не связанными друг с другом силами тяготения, постоянно увеличиваются. И дело здесь не в природе галактик: сама Вселенная непрерывно расширяется! Естественному знанию пришлось расстаться с одним из своих основополагающих принципов, согласно которому все вещи меняются в этом мире, но мир в целом всегда одинаков. Это можно считать важнейшим научным событием XX в.

Изменения в представлениях начались в 1915 г., когда великий физик Альберт Эйнштейн опубликовал общую теорию относительности. В её уравнениях описаны фундаментальные свойства материи, пространства и времени. («Относительный» полатыни звучит как *relativus*, поэтому теории, основанные на специальной или общей теории относительности Эйнштейна, называются *релятивистскими*.)

Применив свою теорию к Вселенной как единой системе, Эйнштейн обнаружил, что решения, описывающего стационарную, не изменяющуюся со временем Вселенную, не получается. Этот результат не удовлетворил учёного. Чтобы добиться стационарного решения своих уравнений, Эйнштейн ввёл в них дополнительное



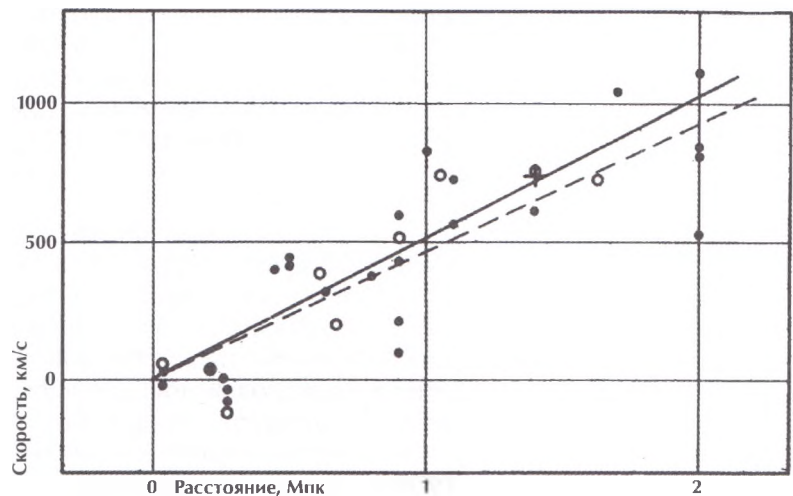
слагаемое — так называемый лямбда-член. С точки зрения математики это корректно, но до сих пор никто не смог найти удовлетворительного физического обоснования этого дополнительного слагаемого.

В начале 1920-х гг. математик Александр Александрович Фридман в Петрограде решил уравнения общей теории относительности применительно ко Вселенной, не накладывая условия стационарности. Он доказал, что могут существовать два решения: расширяющийся мир и сжимающийся мир. Полученные Фридманом уравнения используют для описания эволюции Вселенной и в настоящее время.

Все эти теоретические рассуждения учёные никак не связывали с реальным миром, пока в 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл не обнаружил расширение наблюдаемого мира галактик. Он использовал при этом тот факт, что линии в спектре движущегося источника смещаются на величину, пропорциональную скорости его приближения или удаления. Как раз незадолго до этого американский астроном Весто Слайфер, исследовав спектры нескольких галактик, заметил, что у большинства из них спектральные линии смещены в красную сторону. Это означало, что они удаляются от нашей Галактики со скоростями в сотни километров в секунду.

Хаббл определил расстояния до небольшого числа галактик, а также их скорости. Из сопоставления этих наблюдений следовало, что чем дальше находится объект, тем с большей скоростью он от нас удаляется. Закон, по которому скорость удаления пропорциональна расстоянию, получил название *закона Хаббла*.

Однако это не означает, что наша Галактика является центром, от которого и идёт расширение. Наблюдатель в любой точке Вселенной должен увидеть ту же самую картину: все галакти-



ки имели бы красные смещения, пропорциональные расстоянию до них. Само пространство как бы раздувается. Если на поверхности воздушного шарика нарисовать галактики и начать надувать его, то расстояния между изображениями будут возрастать, причём тем быстрее, чем дальше они расположены друг от друга.

Разница лишь в том, что нарисованные на шарике галактики и сами увеличиваются в размерах, реальные же звёздные системы повсюду во Вселенной могут сохранять свои размеры, так как составляющие их звёзды и газ связаны между собой силами гравитации.

Факт постоянного расширения Вселенной установлен твёрдо. Самые далёкие из известных галактик и квазаров имеют такое большое красное смещение, что длины волн всех линий в их спектрах оказываются больше, чем у близких источников, в шесть с лишним (а возможно, и в десять) раз!

Но если Вселенная расширяется, то сегодня мы видим её не такой, какой она была в прошлом. Миллиарды лет назад галактики располагались значительно ближе друг к другу. Ещё раньше отдельных галактик просто не могло существовать, а совсем близко к началу расширения даже мелкие

Закон Хаббла. Зависимость скорости удаления галактик от расстояний до них, установленная в 1928 г.



небесные тела не вместились бы в том небольшом объеме, который тогда занимала вся наблюдаемая сейчас часть безграничной Вселенной. Сама эпоха, когда расширение Вселенной стартовало, удалена от нас примерно на 13—14 млрд лет.

На начальной стадии всё вещество Вселенной имело огромную плотность. Идею о расширении Вселенной из сверхплотного состояния ввёл в 1927 г. бельгийский астроном Жорж Леметр, а предположение, что первоначальное вещество было очень горячим, впервые теоретически обосновал Георгий Антонович Гамов в 1946 г. Впоследствии эту гипотезу подтвердило открытие так называемого реликтового излучения, сделанное американскими радиоастрономами Арно Пензиасом и Робертом Уилсоном в 1964 г. Распределённое по всему объёму Вселенной, оно осталось как рудимент её бурного

рождения, которое часто называют Большим взрывом.

Начало XXI в. было ознаменовано очень важными шагами в понимании структуры Вселенной. Сразу несколько научных групп независимыми методами и с невиданной до этого точностью определили возраст Вселенной. На сегодняшний день в рамках так называемой стандартной космологической модели (которая, конечно же, может в будущем уточняться) он составляет 13,8 млрд лет. Удалось оценить и параметры расширения Вселенной, и её геометрическую кривизну. Эти параметры указывают на то, что «обычного» вещества, состоящего в основном из барионов (т. е. протонов и нейтронов), во Вселенной всего около 4 % по массе. В несколько раз больше (23 %) вклад так называемой тёмной материи — небарионного вещества, состоящего, скорее всего, из довольно экзотичес-

КАК ИЗМЕРЯЮТ КРАСНЫЕ СМЕЩЕНИЯ

Космологическое красное смещение — это смещение спектральных линий в сторону длинных волн в спектре далёкого космического источника (например, галактики или квазара) по сравнению с длинами волн тех же элементов в спектре лабораторного источника, т. е. источника, неподвижного относительно наблюдателя. Оно выражается отношением изменения длины волны к лабораторной длине волны линии. Например, если линия водорода Лайман-альфа с длиной волны $\lambda_{\text{исп}} = 1216 \text{ \AA}$ наблюдается на длине волны $\lambda_{\text{набл}} = 4864 \text{ \AA}$, то красное смещение этой галактики

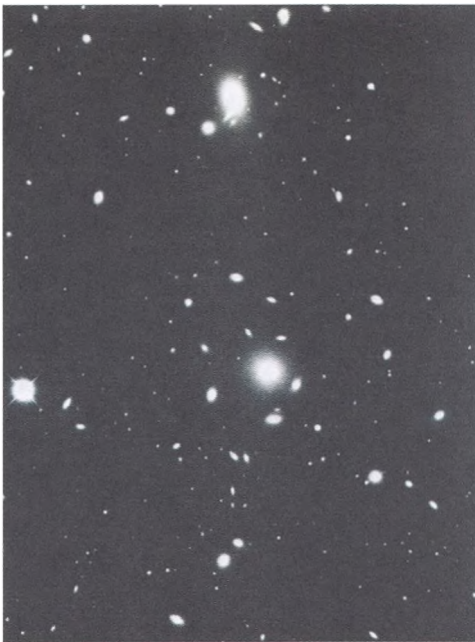
$$z = (4864 - 1216)/1216 = 3.$$

Красные смещения вызываются расширением Вселенной как целого. Зная красное смещение z , можно определить формальную «скорость» удаления галактики v . Если эта скорость невелика по сравнению со скоростью света ($c = 300\,000 \text{ км/с}$), она выражается простой формулой: $v = cz$. Если измеренное по спектральным линиям $z > 1$, то скорость

связана с ним более сложным образом и зависит от принятой модели Вселенной.

По красному смещению можно рассчитать не только скорость удаления галактики, но и расстояние r до неё, воспользовавшись законом Хаббла: $v = H_0 r$, где H_0 — современное значение параметра Хаббла. Например, пусть при радионаблюдениях некоторой галактики линия нейтрального водорода с длиной волны $\lambda_{\text{исп}} = 21,1 \text{ см}$ была измерена на $\lambda_{\text{набл}} = 21,3 \text{ см}$. Красное смещение галактики $z = 0,0095$, то есть скорость удаления источника — 2850 км/с . Приняв значение постоянной Хаббла $H_0 = 70 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$, находим расстояние $r = cz/H_0 = 42,8 \text{ Мпк}$.

Красное смещение является также мерой времени, протёкшего с начала расширения Вселенной до момента испускания света в галактике, или времени, за которое свет от галактики достиг земного наблюдателя. Так, по современным астрономическим данным, самые первые галактики образовались в эпоху, соответствующую красному смещению $z \sim 6-8$, т. е. спустя один миллиард лет, или примерно одной четырнадцатой части современного возраста Вселенной.



ких элементарных частиц. Но ещё большую долю от полной плотности (73 %) составляет так называемая тёмная энергия, которая математически может описываться лямбда-членом, придуманным Эйнштейном. Но есть и другие идеи относительно того, чем может являться тёмная энергия. Физическая природа тёмной энергии остаётся загадкой, и учёные только начинают исследовать её.

Наблюдаемая структура Вселенной на больших масштабах определяется тем, что астрономические тела обладают тенденцией группироваться в системы. Звёзды могут образовывать пары, входить в состав звёздных скоплений или ассоциаций. Крупнейшими объединениями звёзд являются галактики. Но и они редко наблюдаются как одиночные. Более 90 % ярких галактик входят либо в небольшие группы, содержащие лишь несколько крупных членов (такова, например, Местная группа галактик), либо в скопления, в которых их насчитываются многие тысячи.

В окрестностях нашей Галактики, в пределах 5 млн световых лет от неё,

расположено более 50 галактик, которые образуют Местную группу. Лишь пять из них можно считать крупными. Это наша Галактика, Туманность Андромеды, Туманность Треугольника (все они спиральные), а также две сравнительно крупные неправильные галактики — Магеллановы Облака. Светимость и размеры большинства остальных звёздных систем значительно меньше. По своей массе они настолько же меньше нормальных галактик, насколько планеты — звёзд. Местная группа устойчива и не участвует в общем «разбегании»: гравитация прочно удерживает её членов вместе.

Галактики и их группы распределены в пространстве не равномерно, а образуют скопления, обычно неправильной формы. Хотя есть скопления правильной, сферической формы, которые состоят из сотен и тысяч отдельных звёздных систем, сильно концентрирующихся к центру. Такие скопления называют *регулярными*. В них много эллиптических и линзовидных галактик и почти нет спиральных. В центре находится одна или несколько гигантских эллиптических галактик. Часто они обладают сильным радиоизлучением, поэтому регулярные скопления нередко связаны с яркими радиоисточниками. Одно из ближайших к нам регулярных скопле-

◀ Скопление галактик в созвездии Волосы Вероники.

Часть скопления галактик в созвездии Дева.





ний расположено в созвездии Волосы Вероники. Оно находится на расстоянии примерно 400 млн световых лет от нас. Размеры таких скоплений очень велики — десятки миллионов световых лет. Даже при тех огромных расстояниях, которые отделяют их от нас, они выглядят очень протяжёнными (скопление в Волосах Вероники, например, занимает на небе область диаметром 12°).

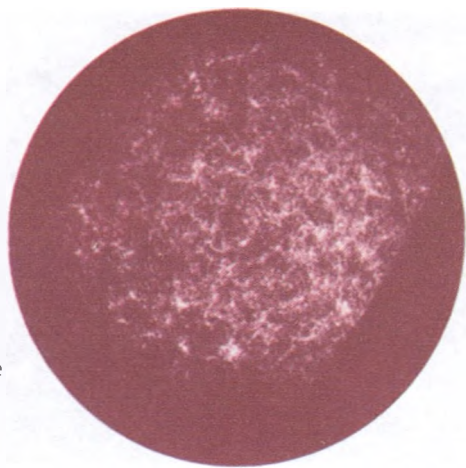
В *иррегулярных* (т. е. неправильных) скоплениях много спиральных систем. Но общее число галактик в таких скоплениях значительно меньше по сравнению с регулярными. Вообще, чем больше членов содержит скопление, тем более правильную форму оно имеет. Примером иррегулярного скопления является ближайшее к нам крупное скопление галактик в созвездии Дева. Местная группа, в которую входит наш Млечный Путь, расположена примерно в 50 млн световых лет от его центра, т. е. на периферии скопления.

Наивысшая плотность галактик наблюдается в центральных областях регулярных скоплений. Расстояния между звёздными системами здесь сравнимы с их собственными размерами, и галактики часто сталкиваются. Конечно, столкновение галактик не надо понимать в буквальном смысле, как некую катастрофу.

Расстояния между звёздами огромны, и при столкновении двух галактик звёзды одной из них свободно проходят между звёздами другой, а длится это сотни миллионов лет. Однако галактики активно влияют друг на друга силами гравитации, звёзды изменяют свои орбиты и как бы перемешиваются. В некоторых случаях это приводит к разрушению или слиянию галактик. Именно в результате таких столкновений и слияний в центральных областях регулярных скоплений образуются гигантские эллиптические системы. Они «заглатывают» межгалактический газ и случайно попадающие в них мелкие галактики.

Пространство между галактиками в скоплении заполнено газом, который разогрет до температуры около 10 млн градусов и излучает преимущественно в рентгеновском диапазоне. Концентрация его мала — в среднем один атом на кубический дециметр, но общий объём огромен, поэтому полная масса газа сопоставима с суммарной звёздной массой всех галактик скопления. Охлаждаясь, газ может струями течь к центру скопления. Значительная часть межгалактического газа скоплений была выброшена миллиарды лет назад из молодых тогда галактик, в которых шло бурное звёздообразование.

Чтобы газ столь высокой температуры не покидал скопление, его должна удерживать большая сила тяготения. Но если она достаточно велика, значит, велика и масса, её создающая, т. е. масса скопления. Оценки звёздной массы отдельных галактик показывают, что их суммарное гравитационное поле не может удерживать такой горячий газ, и в скоплениях должно находиться большое количество «скрытой массы», или «тёмной материи». С той же проблемой учёные столкнулись и при объяснении устойчивости самих скоплений. Скорости движения галактик внутри



Карта небесной сферы, на которую нанесены галактики. Распределение их, несмотря на отдельные локальные сгущения, в больших масштабах равномерное.

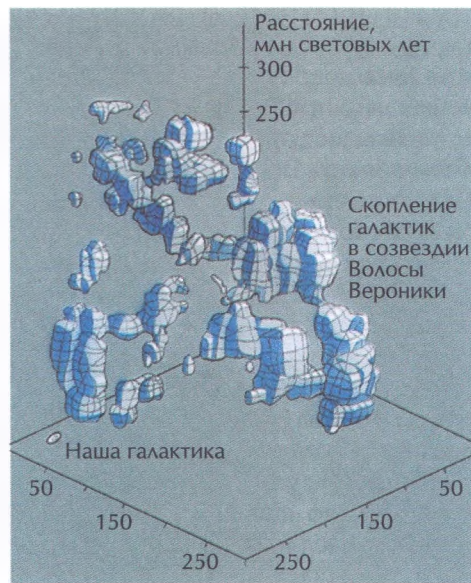


них так высоки, что без присутствия скрытой массы они просто разлетелись бы в разные стороны.

Скопления галактик, по-видимому, самые крупные устойчивые системы во Вселенной, их гравитационное поле не позволяет галактикам разлететься. Существуют и более протяжённые образования: цепочки из скоплений или гигантские сравнительно плоские поля, усеянные галактиками и скоплениями (так называемые стенки). Но гравитация не удерживает эти системы, и они расширяются примерно с тем же темпом, что и вся Вселенная в целом.

Области повышенной концентрации галактик и их систем чередуются в пространстве с обширными пустотами размерами в сотни миллионов световых лет, которые почти не содержат галактик.

«Стенки», ограничивающие пустоты, состоят из скоплений галактик. По результатам больших спектральных обзоров были обнаружены крупнейшие скопления вещества во Вселенной — Большая Стена и, позднее, Слоановская Большая Стена. Последняя имеет колоссальные размеры (более 1 млрд световых лет), сравнимые уже со всей наблюдаемой областью Вселенной. Эти структуры, как и менее плотные «перепонки» между пустотами, напоминают скорее сгущение волокон или запутанную ветром паутину, образуемую



Ячеистая структура Вселенной. Галактики и их скопления располагаются по некоторым поверхностям, охватывающим полости.

галактиками и их скоплениями, чем привычные нам стенки между комнатами.

Протяжённые волокна (называемые также филаментами), состоящие из тех же скоплений галактик, являются самыми крупными структурами во Вселенной. «Волокнистый» и «ячеистый» характер отражает картину распределения вещества, которое включало как обычную, так и «тёмную» материю, существовавшую во Вселенной около 14 млрд лет назад, когда галактик ещё не было в природе: они возникли из этого вещества в первый миллиард лет после начала расширения.

КОСМОЛОГИЯ, ИЛИ ЧТО БЫЛО, КОГДА НЕ СУЩЕСТВОВАЛО ЗВЁЗД

Для описания Вселенной как единого целого астрономы используют математические модели, упрощённо представляющие её основные свойства. Таких моделей может быть много, но все они похожи в том, что

рассматривают расширяющуюся Вселенную, в которой действуют известные законы физики. Факт расширения Вселенной означает, что наш мир не был одинаковым во все времена.



ПУТЕШЕСТВИЕ В ПРОШЛОЕ

Мысленно переносясь в прошлое, мы неизбежно придём к такому моменту, когда вся доступная нашим наблюдениям область Вселенной формально была стянута в точку, а плотность её была бесконечно большой! Разумеется, это результат упрощённой модели, поскольку бесконечное значение плотности или любого другого параметра не имеет физического смысла. Тем не менее в рамках модели допустимо говорить о «времени жизни» Вселенной как времени, прошедшем с момента существования очень большой, но ещё имеющей физический смысл плотности. Это время, часто называемое *возрастом Вселенной*, оказывается около 14 млрд лет. Если наши математические модели верно описывают реальную Вселенную, то среди наблюдаемых астрономических объектов не должно быть таких, возраст которых превосходил бы возраст Вселенной. И действительно, возраст самых старых звёзд как нашей, так и других галактик не больше 15 млрд лет.

Поскольку любой сигнал, несущий информацию, не может передаваться со скоростью больше скорости света ($c = 300\,000$ км/с), конечный «возраст» Вселенной позволяет условно говорить и о размере Вселенной как о размере области, из которой информация может прийти до наблюдателя (например, до нас с вами) за время, прошедшее с момента начала расширения. Никакое совершенствование техники не позволит напрямую заглянуть ещё дальше. Это предельное расстояние, до которого в принципе могут «дотянуться» наши наблюдения. В честь Эдвина Хаббла его называют *хаббловским радиусом*. В настоящее время оно составляет около 4000 Мпк.

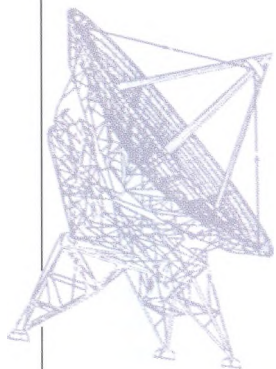
Очевидно, что понятие радиуса Вселенной достаточно условно: реальная Вселенная безгранична и нигде не кончается. Ясно, что «гори-

зонт» любого наблюдателя раздвигается со скоростью света всё дальше и дальше. Из-за конечности скорости света величина красного смещения в спектре далёкой галактики одновременно является и мерой расстояния до неё, и мерой времени, прошедшего с момента испускания ею того излучения, которое мы сейчас улавливаем. Наблюдая всё более и более далёкие галактики, мы заглядываем в их прошлое, видим их такими, какими они были миллионы и миллиарды лет назад.

ОДНОРОДНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

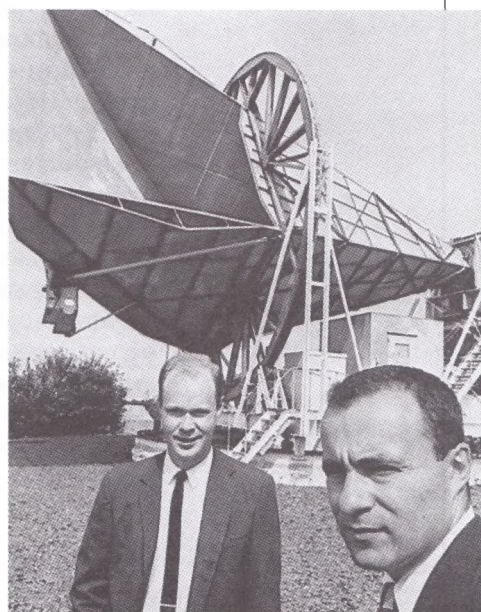
Из наблюдений вытекает странный на первый взгляд вывод о том, что Вселенная в больших масштабах однородна. Это означает, что, переходя ко всё большему объёмам пространства, мы наблюдаем всё более однородную картину распределения вещества. Если взять, например, небольшой объём — 10 пк^3 — в окрестностях Солнца, в нём окажется несколько звёзд и весьма разреженная межзвёздная плазма, а в соседних 10 пк^3 мы вообще можем не обнаружить ни одной звезды. Это говорит о неоднородности распределения вещества в малых объёмах Вселенной. Но куб со стороной 100 млн парсек даст нам примерно одну и ту же картину в любом месте наблюдаемой части Вселенной. Внутри таких объёмов число галактик и их скоплений будет почти одинаковым.

Мысленно «размазав» все галактики по этим объёмам, мы получим некоторую среднюю плотность вещества. Её значение является одним из важнейших параметров, характеризующих Вселенную. Кроме того, наблюдения показывают, что во Вселенной на больших масштабах нет выделенных направлений (изотропия Вселенной). Однородность и изотропия Вселенной сильно упрощают её математическое моделирование.





◀ Участок небесной сферы малого размера (около $1' \times 1'$). На нём видно всего несколько звёзд, все остальные объекты — далёкие галактики. Съёмка космического телескопа «Хаббл».



РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

В расширяющейся Вселенной средняя плотность вещества зависит от времени — в прошлом плотность была больше. Однако при расширении изменяется не только плотность, но и тепловая энергия вещества (газ при расширении остывает!). Это наводит на мысль, что Вселенная на ранней стадии расширения была не только плотной, но и горячей. Такую модель впервые предложил Георгий Гамов в конце 1940-х гг. Как следствие, в наше время должно наблюдаться остаточное излучение (его называют реликтовым), дошедшее до нас из далёкой эпохи, когда дозвёздную Вселенную заполнял плотный горячий газ.

Гамов предсказал, что спектр реликтового излучения должен быть точно таким же, как у излучения со-

вершенно непрозрачного тела (физики говорят — абсолютно чёрного тела) с температурой в несколько кельвинов. От излучения звёзд и галактик оно должно отличаться именно своим специфическим видом спектра и к тому же одинаковой интенсивностью во всех направлениях на небе, т. е. высокой степенью изотропии, когда слабое «свечение» приходит от всего небосвода. Это излучение должно быть наиболее заметным в области миллиметровых радиоволн. И действительно, такое излучение открыли американские радиоастрономы Арно Пензиас и Роберт Уилсон в 1965 г. Его температура оказалась равной 2,73 К, что близко к предсказанной величине. Тем самым гипотеза «горячей Вселенной» получила наблюдательное обоснование.

Открытие реликтового излучения.
А. Пензиас
и Р. Уилсон
у радиотелескопа.



ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ И ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Астрономические наблюдения однозначно свидетельствуют о существовании во Вселенной большого количества невидимой (тёмной) материи (скрытой массы), которая проявляет себя только по гравитационному взаимодействию и сгущается в масштабах галактик и скоплений галактик. Измерения показывают, что тёмной материи в несколько раз больше обычного вещества. Кроме того, с конца 1990-х гг. разными методами установлено, что кроме скрытой массы во Вселенной, по-видимому, существует совершенно необычная форма материи, получившая название «тёмная энергия». Необычность её в том, что она, в отличие от известных нам форм материи, не подвержена тенденции к сгущиванию из-за действия силы всемирного притяжения, а, напротив, в больших масштабах (мегапарсеки и более) приводит к эффективному «отталкиванию» всех находящихся во Вселенной тел и частиц — это своего рода «антигравитация». Более того, плотность тёмной энергии в несколько раз превосходит плотность энергии остальной материи (включая скрытую массу), что выражается в ускоренном расширении Вселенной в течение последних нескольких миллиардов лет. Этот поразительный факт ускоренного расширения и был обнаружен при наблюдении далёких термоядерных сверхновых (типа Ia), которые для данного красного смещения оказались более слабыми по сравнению с ожидаемым значением (напомним, что термоядерные сверхновые — это своего рода «маяки Вселенной» с почти постоянной мощностью в максимуме блеска). Если тёмная материя, состоит из массивных ещё не открытых слабовзаимодей-

ствующих элементарных частиц, то что такое тёмная энергия — полная тайна, над решением которой работают современные учёные. Добавим также, что ответ на вопрос о будущем расширении Вселенной зависит от пока совсем неясных свойств тёмной энергии. И всё говорит о том, что расширение, вероятно, и дальше будет продолжаться с ускорением.

ПОСТОЯННАЯ ХАББЛА И ВОЗРАСТ ВСЕЛЕННОЙ

Важнейшим наблюдательным параметром в современной космологии является постоянная Хаббла — коэффициент пропорциональности между скоростью удаления галактики, определённой по красному смещению, и расстоянием до неё. Определить точно постоянную Хаббла непросто. Галактики могут иметь довольно высокие случайные скорости (до 1000—2000 км/с), никак не связанные с космологическим расширением. Чтобы вычислить постоянную Хаббла, приходится измерять красные смещения не близких, а достаточно далёких галактик, расстояния до которых установить очень трудно. По современным оценкам, наиболее вероятное значение H_0 близко к 70 км/(с · Мпк). Уточнить это значение удалось только в последние годы благодаря измерениям флуктуаций температуры реликтового излучения (эксперимент WMAP). Обратное значение постоянной Хаббла даёт приблизительную оценку времени, прошедшего с начала расширения (так называемое Хаббловское время), и оказывается около 10 млрд лет. Из-за современного ускоренного расширения, однако, время расширения увеличивается по сравнению с хаббловским и оказывается равным 13,7 млрд лет.



ДА БУДЕТ ВЕЩЕСТВО!

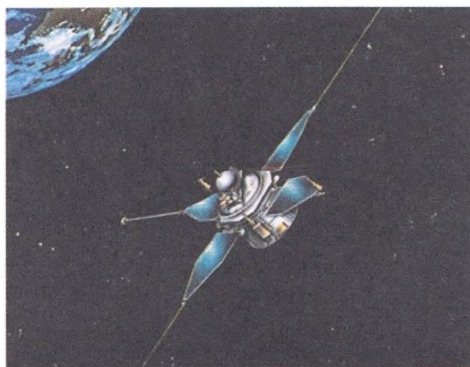
Каждый кубический сантиметр пространства содержит около 500 реликтовых фотонов. Вещества на этот же объём приходится гораздо меньше: в среднем около 10^{-6} барионов (так называют тяжёлые элементарные частицы, в том числе протоны и нейтроны). Поскольку фотоны никуда не исчезают (пространство между галактиками прозрачно), отношение числа фотонов к числу барионов в ходе расширения Вселенной сохраняется. Но энергия фотонов со временем уменьшается из-за красного смещения. Следовательно, когда-то в прошлом плотность энергии излучения была больше плотности энергии обычных частиц вещества. Это означает, что до определённого момента фотоны не только числом, но и «массой» (здесь под массой мы понимаем энергию, делённую на квадрат скорости света) превосходили барионы. В те времена излучение полностью определяло характер расширения Вселенной. Об этой эпохе говорят как о *радиационной* стадии в эволюции Вселенной. На этой стадии температура вещества и излучения была одинаковой.

Но в один прекрасный момент, примерно через 300 тыс. лет после начала расширения Вселенной, всё изменилось: произошёл переход от радиационной стадии к стадии вещества. Этот переход примерно совпал по времени с так называемой эпохой *рекомбинации*. Температура тогда понизилась до нескольких тысяч градусов. Из атомной физики известно, что при такой температуре начинается объединение (рекомбинация) электронов, бывших до этого свободными частицами, с протонами и ядрами гелия. Именно на этой стадии во Вселенной началось образование электрически нейтральных атомов, преимущественно водорода и гелия.

Если до рекомбинации ионизованное вещество и излучение актив-

но взаимодействовали друг с другом, то после неё ситуация резко изменилась: кванты света почти перестали «замечать» нейтральные атомы. Вселенная стала прозрачной для излучения, которое начало путешествовать свободно. Именно это излучение улавливаем мы сейчас как реликтовый (микроволновый) фон неба. Образу говоря, кванты реликтового излучения «запечатлели» эпоху рекомбинации и несут прямую информацию о далёком прошлом. Правда, с тех пор фотоны «покраснели» из-за расширения Вселенной и уменьшили свою энергию примерно в 1000 раз.

После рекомбинации барионное вещество впервые начало эволюционировать самостоятельно, независимо от излучения. Ещё до рекомбинации в распределении вещества (и связанного с ним излучения) начали возникать слабоконтрастные уплотнения — зародыши будущих галактик и их скоплений. Вот почему так важны для учёных эксперименты по изучению свойств реликтового излучения — его спектра и пространственных неоднородностей (флуктуаций). Их усилия не пропали даром: в начале 1990-х гг. российский космический эксперимент «Реликт-2» и американский «Коб» обнаружили очень маленькие различия температуры реликтового излучения и соседних участков неба. Величина отклонения от средней температуры (2,73 К) составляет всего около ты-



Космический аппарат «Прогноз», на котором проводился эксперимент «Реликт-2» по исследованию реликтового излучения.



сячной доли процента! Эти вариации температуры несут информацию об отклонении плотности вещества от среднего значения в эпоху рекомбинации. Именно вариации плотности впоследствии привели к образованию наблюдаемых во Вселенной крупномасштабных структур, скоплений галактик и отдельных галактик.

Сразу после рекомбинации ещё не было ни звёзд, ни галактик, ни других космических объектов; вещество было рассеяно во Вселенной почти равномерно. Причина, по которой из однородной среды образовались массивные тела (звёзды, планеты, галактики и т. д.), кроется в силе гравитации. Там, где плотность была чуть выше средней, сильнее было и притяжение, а значит, более плотные образования становились ещё плотнее. И наоборот, области пониженной плотности делались всё разреженнее, поскольку вещество из них уходило в более плотные области. Таким образом, изначально почти однородная среда со временем разделилась на отдельные «облака», из которых сформировались галактики.

По современным представлениям, первые галактики должны были образоваться в эпоху, которая соответствует красным смещениям $z = 6-8$ (напомним, что красным смещением

называют изменение длины волны электромагнитного излучения по отношению к исходной длине волны). Наблюдения очень далёких галактик с большими красными смещениями подтверждают, что это наиболее молодые объекты, которые мы видим вскоре после их рождения.

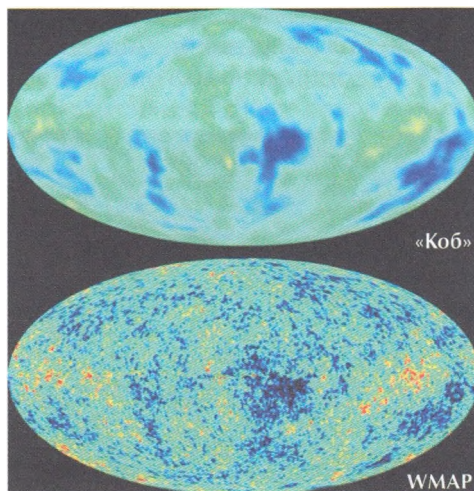
ПЕРВЫЕ СЕКУНДЫ И МИНУТЫ

Итак, наблюдая реликтовое излучение, мы углубляемся в прошлое Вселенной. А есть ли шанс заглянуть ещё дальше, в эпоху, предшествовавшую рекомбинации? Ясно, что с помощью электромагнитного излучения этого сделать нельзя, ведь до рекомбинации Вселенная была непрозрачной для квантов света. Пока можно лишь предполагать, что происходило в ранней Вселенной.

Что же было в самом начале? Согласно общей теории относительности, любой вид давления порождает силу тяготения. До момента рекомбинации именно давление электромагнитного излучения в основном создавало гравитационное поле, тормозившее расширение Вселенной. На этой стадии температура изменялась обратно пропорционально квадратному корню из времени, прошедшего с начала расширения. На ранних стадиях расширения температура Вселенной была столь высока, что энергии фотонов хватало для рождения пар всех известных частиц и античастиц.

Рассмотрим последовательно различные стадии расширения Вселенной. Как известно, частицы и античастицы с массой покоя m рождаются электромагнитным полем, если энергия фотонов превышает энергию покоя $2mc^2$ данного сорта частиц (c — скорость света). При $T > 10^{13}$ К во Вселенной рождались и гибли (аннигилировали) пары различных частиц и их анти-

Карты всего неба, на которых видны флуктуации яркости реликтового излучения. Съёмки космического аппарата «Коб» (вверху) и WMAP (внизу).





частиц: протоны, нейтроны, мезоны, электроны, нейтрино и др. При понижении температуры до $5 \cdot 10^{12}$ К почти все частицы и античастицы проаннигилировали, превратившись в кванты излучения; остались только те из них, для которых «не хватило» античастиц. Фотоны, энергия которых к этому моменту стала меньше, уже не могли порождать частицы и античастицы. Как показали измерения яркости реликтового фона в сочетании с теорией горячей Вселенной, на один барион приходится почти 10^9 фотонов — продуктов аннигиляции. Значит, первоначальный избыток частиц по сравнению с античастицами составлял ничтожную долю (одну миллиардную!) от их общего числа. Именно из этих «избыточных» протонов и нейтронов в основном состоит вещество современной наблюдаемой Вселенной.

При $T \approx 2 \cdot 10^{10}$ К с веществом перестали взаимодействовать всепроникающие нейтрино — от того момента должен был остаться «реликтовый фон нейтрино», обнаружить который, возможно, удастся в ходе будущих нейтринных экспериментов.

Всё, о чём мы сейчас говорили, происходило при сверхвысоких температурах в первую секунду после начала расширения Вселенной. Спустя несколько секунд после момента «рождения» Вселенной началась эпоха первичного нуклеосинтеза, когда образовывались ядра дейтерия, гелия, лития и бериллия. Она продолжалась приблизительно три минуты, а её результатом в основном стало образование ядер гелия (25 % от массы водорода). Остальные элементы, более тяжёлые, чем гелий, составили ничтожно малую часть вещества — около 0,01 %. Определение химического состава (особенно содержания гелия, дейтерия и лития) самых старых звёзд и межзвёздной среды молодых галактик является одним из способов проверки выводов теории горячей Вселенной.

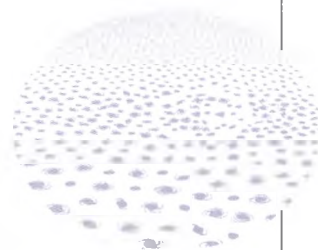
После эпохи нуклеосинтеза и до эпохи рекомбинации ($T = 3 \cdot 10^5$ лет) происходило спокойное расширение и остывание Вселенной, а затем — спустя сотни миллионов лет после начала расширения — появились первые галактики и звёзды.

ИНФЛЯЦИОННАЯ ВСЕЛЕННАЯ

До начала 1980-х гг. в нашем рассказе здесь можно было бы поставить точку. Однако в последние десятилетия развитие космологии и физики элементарных частиц позволило теоретически рассмотреть и самый начальный, «сверхплотный» период расширения Вселенной.

Оказывается, в самом начале расширения, когда температура была невероятно высока (больше 10^{28} К), Вселенная могла находиться в особом состоянии, при котором она расширялась с ускорением, а энергия в расчёте на единицу объёма тем не менее оставалась постоянной. Такую стадию расширения называли *инфляционной*. Подобное состояние материи возможно при одном условии — давление должно быть отрицательным! Действительно, возможность такого состояния материи, когда она обладает отрицательным давлением, следует из современных теорий элементарных частиц. В них предполагается существование некоторого необычного поля со странными физическими свойствами, энергия которого преобладала на самой ранней стадии расширения.

Стадия сверхбыстрого инфляционного расширения охватывала крошечный промежуток времени: она завершилась примерно к моменту $t = 10^{-36}$ с. Считается, что настоящее «рождение» элементарных частиц материи в том виде, в каком мы их знаем сейчас, произошло как раз по окончании инфляционной стадии





и было вызвано «распадом» гипотетического поля. После этого расширение Вселенной продолжалось уже по инерции, причём с замедлением (из-за тормозящего действия гравитации), вплоть до последних миллиардов лет, когда оно вновь стало ускоренным из-за расталкивающего влияния тёмной энергии (см. выше).

Гипотеза инфляционной Вселенной отвечает на целый ряд важных вопросов космологии, которые до недавнего времени считались необъяснимыми парадоксами, в частности на вопрос о причине расширения Вселенной. Если в своей истории Вселенная действительно прошла через эпоху, когда существовало большое отрицательное давление, то гравитация неизбежно должна была вызвать не притяжение, а взаимное отталкивание материальных частиц. И значит, Вселенная как целое начала быстро, взрывоподобно расширяться. Конечно, модель инфляционной Вселенной пока лишь гипотеза: даже косвенная проверка её положений требует таких приборов, которые в настоящее время просто ещё не созданы. Однако идея ускоренного расширения Вселенной на самых ранних стадиях её эволюции прочно вошла в космологию.



До сих пор остаётся открытым важнейший вопрос: что существовало до начала расширения Вселенной? Такая же Вселенная, как наша, но только не расширяющаяся, а сжимающаяся? Или совсем незнакомый нам мир с иными свойствами пространства и времени? А возможно, это был мир, управляемый совершенно другими, неизвестными нам законами природы? Эти проблемы настолько сложны, что решать их придётся будущим поколениям космологов.

Подводя итог, можно сказать, что наше знание о строении и эволюции Вселенной переживает настоящую «инфляционную стадию» — время бурного роста, новых идей и важных открытий. Говоря о ранней Вселенной, мы от самых больших космических масштабов вдруг переносимся в область микромира, который описывается законами квантовой механики. Физика элементарных частиц и сверхвысоких энергий тесно переплетается в космологии с физикой гигантских астрономических систем. Самое большое и самое малое смыкаются здесь друг с другом. В этом состоит удивительная красота нашего мира, полного неожиданных взаимосвязей и глубокого единства.

РОЖДЕНИЕ ЗВЁЗД

Рождение звёзд — процесс, скрытый от наших глаз, даже вооружённых телескопом. Лишь в середине XX в. астрономы поняли, что не все звёзды родились одновременно в эпоху формирования Галактики, что и в наше время появляются молодые звёзды. В 1960—1970-х гг. была создана первая, ещё очень грубая теория образования звёзд. Позднее новая наблюдательная техника значительно расширила наши знания о зарождении и формиро-

вании звёзд. А начиналось изучение этой проблемы ещё во времена Коперника, Галилея и Ньютона.

ОТВЕТ НЬЮТОНА НА ВОПРОС МОЛОДОГО СВЯЩЕННИКА

Создав теорию всемирного тяготения, Исаак Ньютон подтолкнул многих любознательных людей к раз-



мышлениям о причинах эволюции небесных тел. Один из образованных и честолюбивых священников, доктор Ричард Бентли, стремившийся использовать научные достижения для обоснования бытия Бога, изучал труды Ньютона и время от времени обращался к великому физiku с вопросами.

В одном из писем Бентли спросил, не может ли сила тяготения объяснить происхождение звёзд. Ньютон стал размышлять на эту тему и в ответном послании священнику от 10 декабря 1692 г. изложил свой взгляд на возможность гравитационного сгущения космического вещества: «...Если бы это вещество было равномерно распределено по бесконечному пространству, оно никогда не могло бы объединиться в одну массу, но часть его сгущалась бы тут, а другая там, образуя бесконечное число огромных масс, разбросанных на огромных расстояниях друг от друга по всему этому бесконечному пространству. Именно так могли образоваться Солнце и неподвижные звёзды...»

Понадобилось три столетия, чтобы великая догадка стала надёжной теорией, прочно опирающейся на наблюдения.

ОТКРЫТИЕ МЕЖЗВЁЗДНОГО ВЕЩЕСТВА

Что имел в виду Ньютон, говоря о веществе, распределённом в пространстве? В эпоху Ньютона о нём

практически ничего не было известно. Однако межзвёздное вещество все же было открыто до работ Ньютона, почти сразу после изобретения телескопа.

Газовые облака выглядят на небе как туманные пятнышки. Н. Пейреск в 1612 г. впервые упомянул о Большой туманности Ориона. По мере совершенствования телескопов были обнаружены и другие туманные пятна. В каталоге Шарля Мессье (1783 г.) их описано 103, а в списках Уильяма Гершеля (1818 г.) отмечено уже 2500 объектов «не звёздного вида». Наконец, в «Новом общем каталоге туманностей и звёздных скоплений» Джона Дрейера (1888 г.) значится 7840 незвёздных объектов.

В течение трёх столетий туманности, особенно спиральные, считались сравнительно близкими образованиями, связанными с формированием звёзд и планет. Гершель, например, был абсолютно уверен, что он не только нашёл множество облаков дозвёздного вещества, но даже собственными глазами видел, как это вещество под действием тяготения медленно изменяет свою форму и конденсируется в звёзды.

Как позже выяснилось, некоторые туманности действительно связаны с рождением звёзд. Но в большинстве случаев светлые туманные пятна оказались не газовыми облаками, а очень далёкими звёздными системами. Так что оптимизм астрономов был преждевременным, и путь

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ СОСТОЯНИЙ МЕЖЗВЁЗДНОГО ГАЗА

Тип газа	Год открытия	Температура, К	Плотность, атом/см ³	M , в массах Солнца	R , пк
Тёплый	1921	$8 \cdot 10^3$	0,25	$1 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^3$
Прохладный	1950	80	40	$2 \cdot 10^3$	7
Горячий	1970	$3 \cdot 10^5$	0,002	$5 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^5$
Холодный	1975	10	10^3	4	0,3



к тайне рождения звёзд предстоял ещё долгий.

В ИГРУ ВСТУПАЮТ ФИЗИКИ

К середине XIX в. физики могли применить к звёздам газовые законы и закон сохранения энергии. С одной стороны, они поняли, что звёзды не могут светить вечно. Источник их энергии ещё не был найден, но, каким бы он ни оказался, всё равно век звезды отмерен и на смену старым должны родиться новые звёзды.

С другой стороны, те яркие и горячие облака межзвёздного газа, которые смогли обнаружить астрономы в свои телескопы, явно не устраивали физиков как предполагаемое вещество будущих звёзд. Ведь горячий газ стремится расширяться под действием внутреннего давления. И физики не были уверены, что гравитация сможет победить давление газа.

Итак, что же победит — давление или гравитация? В 1902 г. молодой английский физик Джеймс Джинс впервые исследовал уравнения движения газа с учётом гравитации и газового давления и нашёл, что они имеют два решения. Если плотность газа мала и его тяготение слабо, а нагрет он достаточно сильно, то в нём распространяются волны сжатия и разрежения — обычные звуковые колебания. Но если газ достаточно плотный или облако газа массивное и холодное, то тяготение побеждает газовое давление. Тогда первоначально однородная газовая среда будет разбиваться на сгустки (облака), а облако начнёт сжиматься как целое, превращаясь в плотный газовый шар — звезду. Критические значения массы (M_j) и размера (R_j) облака, при которых оно теряет устойчивость и начинает неудержимо сжиматься — коллапсировать, с тех пор называют *джинсовскими*.

Однако во времена Джинса и даже гораздо позже астрономы не могли указать, где же находится тот газ, из которого формируются звёзды. Пока они искали дозвёздное вещество, физики наконец поняли, почему звёзды светят. Исследования атомного ядра и открытие термоядерных реакций позволили объяснить причину длительного свечения звёзд.

НАЙДЕНЫ МОЛОДЫЕ ЗВЁЗДЫ

Оказалось, что чем массивнее звезда, тем ярче она светит и, значит, быстрее сжигает своё термоядерное горючее. Максимальный возраст массивных звёзд спектральных классов O и B составляет 10—30 млн лет. Это очень мало в сравнении с возрастом других объектов Галактики. Следовательно, эти звёзды родились совсем недавно и не могли далеко уйти от места своего рождения. Одно из таких мест — туманность Ориона — знакомо каждому любителю астрономии.

Большая туманность Ориона (M 42 по каталогу Мессье) — яркая эмиссионная, т. е. излучающая свет, туманность, видимая невооружённым глазом как бледное пятно в Мече Ориона. Она удалена от Зем-

► Большая туманность Ориона. Четыре яркие звезды в центре — Трапеция Ориона.





ли на 1500 световых лет и содержит скопление очень молодых звёзд. В центральной, наиболее яркой её части находятся четыре массивные горячие звезды спектрального класса O — известная Трапеция Ориона. Мощное ультрафиолетовое излучение молодых звёзд вызывает свечение разреженного газа туманности. Но сам этот газ слишком горяч, чтобы из него могли формироваться звёзды. Поиски дозвёздного вещества продолжались.

ИЗ ЧЕГО ОБРАЗУЮТСЯ ЗВЁЗДЫ?

Ещё Гершель обнаружил на фоне Млечного Пути тёмные провалы, которые он называл «дырами в небесах». В конце XIX в. в Ликской обсерватории (США) астроном Эдуард Барнард начал систематическое фотографирование неба. К 1913 г. он нашёл около 200 тёмных туманностей. По его мнению, они представляли собой облака поглощающей свет материи, а вовсе не промежутки между звёздами, как считал Гершель.

Это предположение подтвердилось. Когда рядом с облаком межзвёздного газа или внутри него нет горячей звезды, газ остаётся холод-



ным и не светится. Если бы облако содержало только газ, его могли бы и не заметить. Но помимо газа в межзвёздной среде в небольшом количестве (около 1 % по массе) есть мелкие твёрдые частицы — пылинки размерами около 1 мкм и меньше, которые поглощают свет далёких звёзд. Потому-то холодное облако и кажется тёмным «провалом в небесах». Детальное изучение Млечного Пути показало, что очень часто такие «провалы» встречаются в областях звездообразования, подобных туманности Ориона.

В 1946 г. американский астроном Барт Бок обнаружил на фоне светлых туманностей NGC 2237 в Единороге и NGC 6611 в Щите маленькие чёрные пятна, которые назвал *глобулами*. Размер их от 0,01 до 1 пк. Они ослабляют свет лежащих за ними звёзд в десятки и сотни раз. Это значит, что вещество глобул в тысячи раз плотнее окружающего их газа. Их масса оценивается в пределах от 0,01 до 100 масс Солнца.

Области звездообразования в туманности NGC 6611 (созвездие Щит). Снимок космического телескопа «Хаббл».



Глобулы в туманности NGC 2237 в созвездии Единорог.



После открытия глобул появилось убеждение, что сжимающиеся облака дозвёздной материи уже найдены, что они-то и являются непосредственными предшественниками звёзд. Но вскоре стала очевидной поспешность такого заключения.

Дело в том, что оптические телескопы не дают полного представления о межзвёздной среде: с их помощью мы видим лишь горячие облака, нагретые массивными звёздами (как туманность Ориона), или маленькие тёмные глобулы на светлом фоне. И те и другие — довольно редкие образования. Только созданные в 1950-х гг. радиотелескопы позволили обнаружить по излучению в линии 21 см атомарный водород, заполняющий почти всё пространство между звёздами.

Это очень разреженный газ: примерно один атом в кубическом сантиметре пространства (по меркам земных лабораторий — высочайший вакуум!). Но поскольку размер Галактики огромен, в ней набирается около 8 млрд солнечных масс межзвёздного газа, или примерно 5 % от её полной массы. Межзвёздный газ более чем на 67 % (по массе) состоит из водорода, на 28 % из гелия, и менее 5 % приходится на все остальные элементы, самые обильные среди которых — кислород, углерод и азот.

Тёмные облака
в Млечном
Пути. Справа,
в созвездии
Южный Крест, —
Угольный Мешок.



Межзвёздного газа особенно много вблизи плоскости Галактики. Почти весь он сосредоточен в слое толщиной 600 световых лет и диаметром около 30 кпк, или 100 тыс. световых лет (это диаметр галактического диска). Но и в таком тонком слое газ распределён неравномерно. Он концентрируется в спиральных рукавах Галактики, а там разбит на отдельные крупные облака протяжённостью в парсеки и даже в десятки парсек, а массой в сотни и тысячи масс Солнца. Плотность газа в них порядка 100 атомов на кубический сантиметр, температура около -200°C . Оказалось, что критические масса и радиус Джинса при таких условиях почти совпадают с массой и радиусом самих облаков, а это значит, что они готовы к коллапсу. Но главное открытие было ещё впереди.

Астрономы подозревали, что при относительно высокой плотности и низкой температуре, царящей в межзвёздных облаках, часть вещества должна объединяться в молекулы. В этом случае важнейшая часть межзвёздной среды недоступна наблюдению в оптическом диапазоне.

Начавшиеся в 1970 г. ультрафиолетовые наблюдения с ракет и спутников позволили открыть главную молекулу межзвёздной среды — молекулу водорода (H_2). А при наблюдении межзвёздного пространства радиотелескопами сантиметрового и миллиметрового диапазонов были обнаружены десятки других молекул, порой довольно сложных, содержащих до 13 атомов. В их числе молекулы воды, аммиака, формальдегида, этилового спирта и даже аминокислоты глицина.

Как выяснилось, около половины межзвёздного газа содержится в молекулярных облаках. Их плотность в сотни раз больше, чем у облаков атомарного водорода, а температура всего на несколько градусов выше абсолютного нуля. Именно при таких условиях возникают неустойчивые к



гравитационному сжатию отдельные уплотнения в облаке массой порядка массы Солнца и становится возможным формирование звёзд.

Большинство молекулярных облаков зарегистрировано только по радиоизлучению. Некоторые, впрочем, давно известны астрономам, например тёмная туманность Угольный Мешок, хорошо видимая глазом в южной части Млечного Пути. Диаметр этого облака 12 пк, но оно выглядит большим, поскольку удалено от нас всего на 150 пк. Его масса около 5 тыс. солнечных масс, тогда как у некоторых облаков масса достигает миллиона солнечных, а размер 60 пк. В таких гигантских молекулярных облаках (их в Галактике всего несколько тысяч) и располагаются главные очаги формирования звёзд.

Ближайшие к нам области звёздообразования — это тёмные облака в созвездиях Тельца и Змееносца. Подальше расположен огромный комплекс облаков в Орионе.

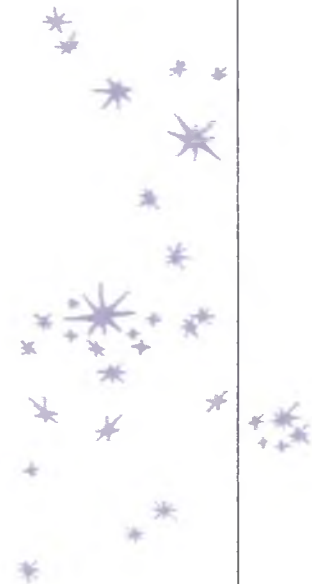
ЖИЗНЬ ЧЁРНОГО ОБЛАКА

Молекулярные облака устроены значительно сложнее, чем знакомые нам облака водяного пара в земной атмосфере. Снаружи молекулярное облако покрыто толстым слоем атомарного газа, поскольку проникающее туда излучение звёзд разрушает хрупкие молекулы. Но находящаяся в наружном слое пыль поглощает излучение, и глубже, в тёмных недрах облака, газ почти полностью состоит из молекул. Структура облаков постоянно изменяется под действием взаимных столкновений, нагрева звёздным излучением, давления межзвёздных магнитных полей. В разных частях облака плотность газа различается в 1000 раз (во столько же раз вода плотнее комнатного воздуха). Когда плотность облака (или отдельной его части) становится настолько боль-

шой, что гравитация преодолевает газовое давление, облако начинает неуклонно коллапсировать. Размер его уменьшается всё быстрее и быстрее, а плотность растёт. Небольшие неоднородности плотности в процессе коллапса усиливаются, и в итоге облако *фрагментирует*, т. е. распадается на части, каждая из которых продолжает самостоятельное сжатие.

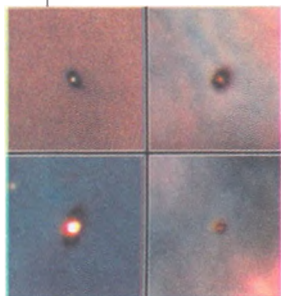
При коллапсе возрастают температура и давление газа, что, в принципе, может остановить сжатие. Но пока облако прозрачно для собственного теплового излучения, оно легко остывает, и поэтому его температура не повышается, и сжатие не прекращается. Большую роль в судьбе сжимающегося облака играет космическая пыль. Хотя по массе она составляет всего 1 % межзвёздного вещества, это очень важный его компонент. В тёмных облаках пылинки поглощают энергию газа и перерабатывают её в инфракрасное излучение, которое легко покидает облако, унося излишки тепла. Но в процессе сжатия из-за увеличения плотности отдельных фрагментов облака газ становится менее прозрачным. Остывание затрудняется, и возрастающее давление останавливает коллапс. В будущем из каждого фрагмента образуется звезда, а все вместе они составят группу молодых звёзд в недрах молекулярного облака.

Коллапс плотной части облака в звезду, а чаще — в группу звёзд продолжается несколько миллионов лет (сравнительно быстро по космическим масштабам). Новорождённые звёзды разогревают окружающий газ, и под действием высокого давления остатки облака разлетаются. Именно этот этап мы видим в туманности Ориона. Но по соседству с ней продолжается формирование будущих поколений звёзд. Для света эти области совершенно непрозрачны и наблюдаются только с помощью инфракрасных и радиотелескопов.





ОБЛАКО СТАНОВИТСЯ ЗВЕЗДОЙ



Рождающиеся звёзды с газопылевыми дисками вокруг них в созвездии Орион. Снимок космического телескопа «Хаббл».

Рождение звезды длится миллионы лет и скрыто от нас в недрах тёмных облаков, так что этот процесс практически недоступен прямому наблюдению. Астрофизики пытаются исследовать его теоретически, с помощью компьютерного моделирования. Превращение фрагмента облака в звезду сопровождается гигантским изменением физических условий: температура вещества возрастает примерно в 10^6 раз, а плотность — в 10^{20} раз. Колоссальные изменения всех характеристик формирующейся звезды составляют главную трудность теоретического рассмотрения её эволюции. На стадии подобных изменений исходный объект уже не облако, но ещё и не звезда. Поэтому его называют *протозвездой* (от греч. «протос» — «первый»).

В общих чертах эволюцию протозвезды можно разделить на три этапа, или фазы. Первый этап — обособление фрагмента облака и его уплотнение — мы уже рассмотрели. Вслед за ним наступает этап быстрого сжатия. В его начале радиус протозвезды примерно в миллион раз больше солнечного. Она совершенно непрозрачна для видимого света, но прозрачна для инфракрасного излучения с длиной волны больше

10 мкм. Излучение уносит излишки тепла, выделяющегося при сжатии, так что температура не повышается и давление газа не препятствует коллапсу. Происходит быстрое сжатие, практически свободное падение вещества к центру облака.

Однако по мере сжатия протозвезда делается всё менее прозрачной, что затрудняет выход излучения и приводит к росту температуры газа. В определённый момент протозвезда становится практически непрозрачной для собственного теплового излучения. Температура, а вместе с ней и давление газа быстро возрастают, сжатие замедляется.

Повышение температуры вызывает значительные изменения свойств вещества. При температуре в несколько тысяч градусов молекулы распадаются на отдельные атомы, а при температуре около 10 тыс. градусов атомы ионизируются, т. е. разрушаются их электронные оболочки. Эти энергоёмкие процессы на некоторое время задерживают рост температуры, но затем он возобновляется. Протозвезда быстро достигает состояния, когда сила тяжести практически уравновешена внутренним давлением газа. Но поскольку тепло всё же понемногу уходит наружу, а иных источников энергии, кроме сжатия, у протозвезды нет, она продолжает потихоньку сжиматься и температура в её недрах всё увеличивается.

ФАЗЫ ЭВОЛЮЦИИ ПРОТОЗВЕЗДЫ СОЛНЕЧНОЙ МАССЫ

Характеристика	Фаза 1 — формирование	Фаза 2 — быстрое сжатие	Фаза 3 — медленное сжатие
Размер, м	10^{18} — 10^{15}	10^{15} — 10^{10}	10^{10} — 10^9
Плотность, кг/м ³	10^{-19} — 10^{-16}	10^{16} —1	1— 10^3
Температура в центре, К	10	10 — 10^6	10^6 — 10^7
Длительность, лет	10^7	10^5	$5 \cdot 10^7$
Наблюдение	Радиодиапазон	Инфракрасный диапазон	Оптический диапазон



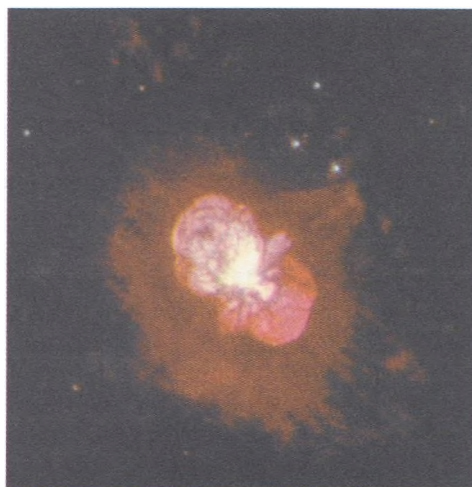
Наконец температура в центре протозвезды достигает нескольких миллионов градусов, и начинаются термоядерные реакции. Выделяющееся при этом тепло полностью компенсирует охлаждение протозвезды с поверхности. Сжатие прекращается. Протозвезда становится звездой.

«ПЕРВЫЙ КРИК» НОВОРОЖДЁННОЙ ЗВЕЗДЫ

Формирующиеся и очень молодые звёзды часто окружены газопылевой оболочкой — остатками вещества, не успевшими ещё упасть на звезду. Оболочка не выпускает изнутри звёздный свет и полностью перерабатывает его в инфракрасное излучение. Поэтому самые молодые звёзды обычно проявляют себя лишь как мощные инфракрасные источники внутри газовых облаков.

На начальном этапе жизни «поведение» звезды очень сильно зависит от её массы. Низкая светимость маломассивных звёзд позволяет им надолго задержаться на стадии медленного сжатия, «питаясь» только гравитационной энергией. За это время оболочка успевает частично осесть на звезду, а также сформировать околозвёздный газопылевой диск. Эволюция же массивной звезды протекает так быстро, что звезда проживает значительную часть жизни, окружённая остатками своей протозвёздной оболочки, которую часто называют *газопылевым коконом*.

Примером звезды-кокона служит объект Беклина — Нейгебауэра в туманности Ориона. Он находится в центре компактного и очень плотного скопления протозвёзд. Из них он наиболее массивный: звезда внутри кокона имеет массу порядка восьми солнечных. Её светимость близка к 2 тыс. солнечных, а температура из-



Расширяющиеся газовые оболочки вокруг массивной звезды η Киля. Снимок космического телескопа «Хаббл».

лучения кокона около 600 К. Объект Беклина — Нейгебауэра был открыт двумя астрономами, имена которых он носит, в 1966 г. как мощный инфракрасный источник. Сейчас известно уже более 250 объектов такого типа. Температура их пылевых коконов 300—600 К. Некоторые из них своим излучением уже почти разрушили коконы: наблюдения показывают, что их вещество расширяется со скоростью 10—15 км/с. Классический пример такой звезды — сверхгигант η Киля на расстоянии около 3 кпк от нас, погружённый в плотную пылевою туманность Гомункулус.

КАКИМИ ЗВЁЗДЫ РОЖДАЮТСЯ

Молекулярные облака, эти «фабрики по производству звёзд», изготавливают звёзды всевозможных типов. Диапазон масс новорождённых звёзд простирается от нескольких сотых долей до 100 масс Солнца, причём маленькие звёзды образуются значительно чаще, чем крупные. В среднем в Галактике ежегодно рождается примерно десяток звёзд с общей массой около пяти масс Солнца.

Примерно половина звёзд рождаются одиночными; остальные



образуют двойные, тройные и более сложные системы. Чем больше компонентов, тем реже встречаются такие системы. Известны системы, содержащие до семи компонентов, более сложные пока не обнаружены.

РЕАКТИВНЫЕ СТРУИ МОЛОДЫХ ЗВЁЗД

При наблюдении формирующихся и молодых звёзд астрономы обнаруживают в их окрестностях быстрые потоки газа, напоминающие реактивные струи, несущиеся в двух противоположных направлениях от звезды. По-видимому, каждая звезда проходит в своей молодости через эпоху образования сверхзвуковых потоков. Сжимаясь из обширного вращающегося облака в небольшой объект, звезда обязана освободиться от избытка энергии и момента импульса, иначе её сжатие будет остановлено центробежной силой. Это «механическая» проблема образования звезды, но есть ещё «магнитная»: при коллапсе облака вместе с газом сжимается и «вмороженное» в него межзвёздное магнитное поле, давление которого также препятствует сжатию. Поэтому формирующейся звезде необходимо избавиться и от излишков магнитного поля.

Долгое время «механическая» и «магнитная» проблемы формирования звёзд обсуждались отдельно. Но оказалось, что они могут помочь в решении друг друга. Компьютерные модели движения газа с магнитным полем в окрестности молодой звезды прояснили ситуацию. Падающий на звезду газ тянет за собой поле. Достигнув аккреционного диска, газ продолжает своё движение к звезде, увеличивая при этом скорость вращения. Но сжимающаяся протозвезда, будучи связанной через магнитное поле с внешними, медленно вращающимися областями газового диска, тормозит своё вращение, передавая газу излишки момента импульса. Однако этим роль магнитного поля не исчерпывается. Увлекаемые газом магнитные силовые линии закручиваются штопором, отчего вся система приобретает свойства архимедова винта: уплотнившееся спиральное магнитное поле начинает толкать газ вдоль оси вращения в обе стороны от звезды, и они вытягиваются на несколько световых лет. Эта модель смогла объяснить не только причину ускорения потоков, но и их строение. На ускоряющийся газ действуют газовое давление, магнитное давление и центробежная сила. В результате их конкуренции возникают колебания плотности газа, приводящие к дроблению потока на отдельные сгустки, летящие друг за другом, как пули. Они действительно наблюдаются в струях, летящих от звёзд, и называются узелками.

Причины появления двойных и кратных звёзд вполне понятны: исходное вращение газового облака не позволяет ему сжаться в одну компактную звезду. Чем больше сжимается облако, тем быстрее оно вращается (известный «эффект фигуристски», который является следствием закона сохранения момента количества движения). Нарастающие при сжатии центробежные силы сначала делают облако плоским, как ватрушка, а затем вытягивают в «дыню» и разрывают пополам. Каждая из половинок, сжимаясь дальше, продолжает двигаться по орбите вокруг общего центра масс. Если дальнейшее сжатие не разрывает её на части, то образуется двойная звезда, а если деление продолжается, рождается более сложная кратная система.

МОЛОДЫЕ ЗВЁЗДНЫЕ КОЛЛЕКТИВЫ

Большой интерес представляют не только индивидуальные и кратные молодые звёзды, но и их коллективы. Молодые звёзды сконцентрированы вблизи экваториальной плоскости Галактики, что совсем не удивительно: именно там находится слой межзвёздного газа. На нашем небосводе молодые звёзды большой светимости и нагретые ими газовые облака пролегли полосой Млечного Пути. Но если тёмной летней ночью внимательно посмотреть на небо, можно заметить, что в Млечном Пути выделяются отдельные «звёздные облака». Насколько они реальны и какую ступень в эволюции вещества отражают? Эти обширные группировки молодых звёзд получили название *звёздные комплексы*. Их характерные размеры — несколько сот парсек.

Исторически первыми были обнаружены и исследованы более компактные группы молодых звёзд — рассеянные скопления, подобные Плеядам.



Эти сравнительно плотные группы из нескольких сот или тысяч звёзд, связанных взаимной гравитацией, успешно противостоят разрушающему влиянию гравитационного поля Галактики. Их происхождение не вызывает споров: предками таких скоплений являются плотные ядра межзвёздных молекулярных облаков. Рассеянные скопления понемногу теряют свои звёзды, но всё же живут довольно долго: в среднем около 500 млн лет, а иногда и несколько миллиардов.

Часто молодые плотные скопления окружены разреженной короной из таких же молодых звёзд. Нередко подобные короны встречаются и сами по себе, без центрального скопления. Их называют *звёздными ассоциациями*.

Обычно на фоне Млечного Пути выделяются лишь самые массивные и яркие члены ассоциации — звёзды спектральных классов О и В. Поэтому такие группировки именуются ОВ-ассоциациями. У некоторых из них замечены признаки расширения со скоростью 5—10 км/с, которое началось с самого рождения звёзд. Причина, вероятно, в том, что массивные горячие звёзды сразу после своего появления разогревают окружающий газ и изгоняют его из области звездообразования. С уходом газа эти области лишаются 70—95 % своей массы и уже не могут удерживать быстро движущиеся звёзды, которые вслед за газом покидают место своего рождения.

Через 10—20 млн лет ассоциации расширяются до размера более 100 пк.



Рассеянное звёздное скопление Плеяды.

и их уже невозможно выделить среди звёзд фона. Это создаёт иллюзию, что ассоциации — редкие группировки звёзд. В действительности они рождаются не реже скоплений, просто разрушаются быстрее.

Процесс формирования звёзд очень сложен и во многом ещё до конца не изучен. Известны галактики, богатые межзвёздным веществом, но почти лишённые молодых звёзд. А в других системах формирование звёзд происходит так интенсивно, что напоминает взрыв. Понять, какие причины стимулируют звездообразование или, напротив, приглушают его, ещё только предстоит.

КОНЕЦ ЖИЗНЕННОГО ПУТИ ЗВЕЗДЫ

Большую часть своей жизни звезда находится на так называемой главной последовательности диаграммы спектр—светимость (диаграммы

Герцшпрунга — Рассела), на которой происходит термоядерное горение водорода в недрах звезды. Все остальные стадии её эволюции



до образования компактного остатка занимают не более 10 % от этого времени. Именно поэтому большинство звёзд, наблюдаемых в нашей Галактике, — скромные красные карлики с массой Солнца или меньше. Дальнейшая судьба звезды полностью определяется её массой.

Каков же будет срок жизни звезды? Иначе говоря, сколько времени она проведёт на главной последовательности? Ответить на данный вопрос не представляет труда, если знать механизм выделения энергии в звезде. Для звёзд главной последовательности это термоядерные реакции превращения водорода в гелий. Как известно из ядерной физики, освобождаемая при этом энергия равна примерно 0,1 % от энергии покоя вещества $E = mc^2$. Здесь m — масса вещества, c — скорость света.

Таким образом, полный запас термоядерной энергии в звезде составляет около $0,001 M_{\text{я}} c^2$, где $M_{\text{я}}$ — масса ядра звезды, в котором и происходят термоядерные реакции (именно там создаются пригодные для них условия). Из наблюдений астрономы знают и скорость потери энергии звездой — её светимость (L). Для Солнца эта величина равна $4 \cdot 10^{26}$ Вт.

Учитывая, что масса ядра звезды пропорциональна её полной массе (M), путём расчётов несложно получить приблизительное соотношение: продолжительность превращения

водорода в гелий равна $10 M/L$ млрд лет, где масса M и светимость L звезды выражены в массах и светимостях Солнца. Для звёзд с массой, близкой к солнечной, $L = M^4$ (это следует из наблюдений). Отсюда находим, что время их жизни на главной последовательности $10/M^3$ млрд лет.

Теперь ясно, что звёзды с массой больше солнечной живут гораздо меньше Солнца, а время жизни самых массивных звёзд составляет «всего» несколько миллионов лет! Для подавляющего же большинства звёзд продолжительность жизни сравнима или даже превышает современный возраст Вселенной (около 14 млрд лет).

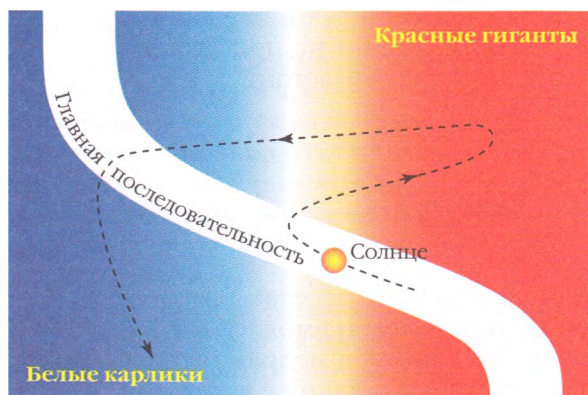
Теперь мы подошли к основному вопросу: во что превращаются звёзды в конце жизни и как проявляют себя их остатки? Звёзды разной массы приходят в итоге к одному из трёх состояний: белые карлики, нейтронные звёзды или чёрные дыры.

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ, ИЛИ БУДУЩЕЕ СОЛНЦА

После «выгорания» термоядерного топлива в звезде, масса которой сравнима с массой Солнца, в центральной её части (ядре) плотность вещества становится настолько высокой, что свойства газа кардинально меняются. Подобный газ называется *вырожденным*, а звёзды, из него состоящие, — *вырожденными звёздами* (см. статью «Белые карлики»).

После образования вырожденного ядра термоядерное горение продолжается в шаровом слое вокруг него. При этом звезда переходит в область красных гигантов на диаграмме Герцшпрунга — Рассела. Оболочка красного гиганта достигает колоссальных размеров — в сотни радиусов Солнца. Она сбрасывается звездой и за время порядка 10—100 тыс. лет сливается с окружающей межзвёздной средой. Сброшенная оболочка иногда видна

Эволюционный путь звезды типа Солнца на диаграмме спектр — светимость.





как планетарная туманность, подсвечиваемая горячим центральным ядром, оставшимся от звезды-гиганта. Оно постепенно остывает и превращается в белый карлик, в котором силам гравитации противостоит давление вырожденного электронного газа. При массе около солнечной радиус белого карлика составляет всего несколько тысяч километров. Средняя плотность вещества в нём часто превышает 10^9 кг/м^3 (тонну на кубический сантиметр!).

Ядерные реакции внутри белого карлика не идут, а свечение поверхности происходит за счёт медленного остывания. Тепловая энергии белого карлика содержится в движениях ионов и поддерживается в течение миллиардов лет за счёт небольшого гравитационного сжатия. При опускании температуры ниже 10—15 тыс. кельвинов ионы образуют кристаллическую решётку. Образно говоря, старые, сильно остывшие белые карлики — это гигантские постепенно остывающие кристаллические образования.

Масса белых карликов не может превышать некоторого предельного значения — это так называемый *предел Чандрасекара* (по имени американского астрофизика, индийца по происхождению, Субраманьяна Чандрасекара), он равен примерно 1,4 массы Солнца. Если масса белого карлика больше, давление вырожденных электронов не может противостоять силам гравитации и за считанные секунды происходит его катастрофическое сжатие — гравитационный коллапс. В ходе коллапса плотность резко растёт, вырожденные электроны захватываются протонами в ядрах элементов и образуют нейтроны (это называется *нейтронизацией вещества*), а освобождаемую гравитационную энергию уносят в основном нейтрино (см. статью «Взрывающиеся звёзды»). Чем же заканчивается этот процесс? По современным представ-



лениям, коллапс может либо остановиться при достижении ядерных плотностей порядка 10^{18} кг/м^3 , когда нейтроны сами становятся вырожденными, — и тогда образуется нейтронная звезда; либо же выделяемая энергия полностью разрушает белый карлик — и коллапс превращается в термоядерный взрыв (в последнем случае наблюдается явление термоядерной сверхновой типа Ia).

Белый карлик в центре планетарной туманности Гантель. Снимок космического телескопа «Хаббл».

НЕЙТРОННЫЕ ЗВЁЗДЫ

Большинство нейтронных звёзд образуется при гравитационном коллапсе ядер звёзд, имевших в начале жизни массу более десяти солнечных. Их рождение сопровождается грандиозным небесным явлением — вспышкой сверхновой звезды (II типа). Зная из наблюдений, что вспышки сверхновых в нормальной галактике происходят примерно раз в 30 лет, легко вычислить, что за время существования нашей Галактики (10—13 млрд лет) в ней должно было образоваться несколько сот миллионов нейтронных звёзд! Как же они должны проявлять себя?

Молодые нейтронные звёзды быстро вращаются (периоды их вращения измеряются десятком миллисекунд!) и обладают сильным магнитным полем. Вращение вместе с магнитным полем



создают мощные электрические поля, которые вырывают заряженные частицы из твёрдой поверхности нейтронной звезды и ускоряют их до очень высоких энергий (см. статью Белые карлики, нейтронные звёзды и чёрные дыры). Ускоренные электроны в магнитном поле излучают фотоны с очень высокой энергией, которые сами могут рождать новые пары электронов и позитронов. Образованная таким образом плазма состоит из частиц, которые движутся с ультрарелятивистскими скоростями (т. е. практически со скоростью света). В ней могут рождаться радиоволны, которые и наблюдают радиоастрономы от пульсаров.

С потерей энергии вращение нейтронной звезды тормозится, электрический потенциал, создаваемый магнитным полем, падает. При некотором его значении заряженные частицы перестают рождаться, и радиопульсар «затухает». Это происходит за время около 10 млн лет, поэтому действующих пульсаров в Галактике должно быть несколько сот тысяч (один на 1500 звёзд соответствующей массы). В настоящее время наблюдается около 1500 пульсаров.

Как и для белых карликов, для нейтронных звёзд существует предельно возможная масса (она носит название *предела Оппенгеймера — Волкова*). Однако строение материи при фантастически высоких плотностях в недрах массивных нейтронных

звёзд известно плохо. Поэтому предел Оппенгеймера — Волкова точно не установлен, его теоретическая оценка зависит от сделанных предположений о типе и взаимодействии частиц внутри нейтронной звезды. Но в любом случае предельная масса не превышает трёх масс Солнца.

Если масса нейтронной звезды превосходит это значение, никакое давление вещества не может противодействовать силам гравитации. Звезда становится неустойчивой и быстро коллапсирует. Так образуется чёрная дыра.

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ

Термин «чёрная дыра» был весьма удачно введён в науку американским физиком Джоном Уилером в 1968 г. для обозначения сколлапсировавшей звезды. Как известно, для того чтобы преодолеть силу притяжения небесного тела с массой M и радиусом R , частица на поверхности должна приобрести вторую космическую скорость $(2GM/R)^{1/2}$, где G — постоянная тяготения Ньютона. Если при постоянной массе радиус уменьшается, то эта скорость возрастает и может достичь скорости света (c) — предельной скорости для любых физических объектов, когда радиус тела становится равным $2GM/c^2$. Это так называемый гравитационный радиус — R_g . Поскольку информация может передаваться не более чем со скоростью света, коллапсирующее тело, как говорят, уходит под горизонт событий для далёкого наблюдателя.

На достаточно больших расстояниях чёрная дыра проявляет себя как обычное гравитирующее тело той же массы. Поверхности в традиционном понимании у чёрных дыр быть не может. Удивительно, но самые «экзотические» с точки зрения образования и физических проявлений космические объекты — чёрные дыры — устроены



Центр Крабовидной туманности в рентгеновских лучах (космическая обсерватория «Чандра», НАСА). Быстровращающаяся нейтронная звезда — компактный остаток сверхновой в центре туманности — непрерывно ускоряет электроны до сверхвысоких энергий, которые рождают рентгеновское излучение.



гораздо проще, чем обычные звёзды или планеты. У них нет химического состава, их строение не связано с различными типами взаимодействия вещества — они описываются только уравнениями общей теории относительности А. Эйнштейна. Кроме массы чёрная дыра может ещё характеризоваться моментом количества движения и электрическим зарядом.

Но если чёрные дыры не светят, то как же можно судить о реальности этих объектов во Вселенной? Единственный путь — наблюдать воздействие их гравитационного поля на другие тела.

Имеются косвенные доказательства существования чёрных дыр в примерно 20 галактических тесных двойных рентгеновских звёздах. В пользу этого говорят, во-первых, отсутствие проявлений твёрдой поверхности, характерных для рентгеновского пульсара или рентгеновского барстера (например, периодических импульсов в излучении), и, во-вторых, большая масса невидимого компонента двойной системы (больше трёх масс Солнца). Не исключено, что образование чёрных дыр при гравитационном коллапсе ядра массивной звезды сопровождается образованием мощных узконаправленных выбросов, наблюдаемых как космические гамма-всплески.

Сейчас рентгеновская астрономия позволяет исследовать рентгеновское излучение очень быстрой (миллисекундной) переменности. В оптической астрономии появилась возможность регистрации очень слабых



Весьма вероятный кандидат в чёрные дыры — рентгеновский источник Лебедь X-1. По-видимому, это тесная двойная система, одним из компонентов которой — чёрная дыра массой около 10 масс Солнца.

потоков света. Всё это даёт надежду, что в будущем будет получено прямое доказательство существования в Галактике чёрных дыр звёздной массы, поскольку все имеющиеся свидетельства являются косвенными. Возможно, прямое обнаружение чёрных дыр будет связано с совершенно новым направлением звёздной науки — гравитационно-волновой астрономией. Уже создаются гравитационно-волновые обсерватории, которые, как можно надеяться, позволят регистрировать необычайно слабые гравитационные волны от двойных систем, содержащих нейтронные звезды и чёрные дыры. Не исключено, что первые обнаруженные таким методом объекты окажутся двойными чёрными дырами, сливающимися друг с другом из-за того, что энергия их орбитального движения уменьшается, переходя в энергию гравитационного излучения.

ИСТОРИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Ещё в XVI в. Джордано Бруно предположил, что звёзды, подобно Солнцу, окружены свитой планет и эти миры непрерывно рождаются, развиваются

и умирают. Два века спустя в работах немецкого философа Иммануила Канта и французского математика Пьера Симона Лапласа зародилась



космогония — наука о происхождении небесных тел. Существует космогония планетная — она изучает проблемы возникновения Земли и планет вообще. С ней связана космогония звёздная, рассматривающая происхождение звёзд, и прежде всего Солнца — ближайшей к нам звезды.

ПРОТОПЛАНЕТНОЕ ОБЛАКО

Движение планет в Солнечной системе упорядоченно: они обращаются вокруг Солнца в одном направлении и почти в одной плоскости. Расстояния от одной планеты до другой возрастают закономерно. Орбиты планет близки к окружностям, что и позволяет им обращаться вокруг Солнца миллиарды лет, не сталкиваясь друг с другом.

Если движение планет подчиняется одному и тому же порядку, то и процесс их образования должен быть единым. Это показали в XVIII в. Кант и Лаплас. Они пришли к выводу, что на месте планет вокруг Солнца первоначально вращалась туманность из газа и пыли.

Но откуда взялась эта туманность? И каким образом газ и пыль превратились в крупные планетные тела? Эти вопросы оставались нерешёнными в космогонии XIX и начала XX в. Камнем преткновения была и проблема момента импульса (момента количества движения) планет. Для каждого тела (или его части), вращающегося по

окружности, это произведение трёх сомножителей: массы тела, радиуса окружности и скорости вращения. Закон сохранения суммарного момента импульса системы — один из основных законов механики. Для планет он оказывается очень большим. Масса всех планет системы в 750 раз меньше массы Солнца. При этом на долю Солнца приходится лишь 2 % общего момента импульса, а остальные 98 % заключены в орбитальном вращении планет.

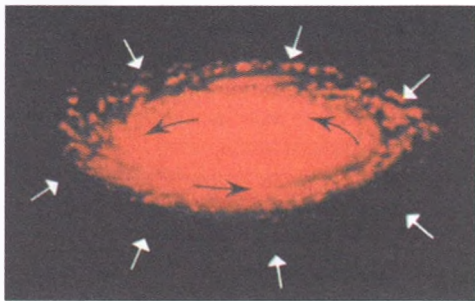
Вплотную этими проблемами наука занялась лишь во второй половине XX в. Почти до конца 1980-х гг. раннюю историю нашей планетной системы приходилось «воссоздавать» лишь на основе данных о ней самой. И только к 1990-м гг. стали доступны для наблюдений невидимые ранее объекты — газопылевые диски, вращающиеся вокруг некоторых молодых звёзд, сходных с Солнцем.

Газопылевую туманность, в которой возникли планеты, их спутники, мелкие твёрдые тела — метеороиды, астероиды и кометы, называют *протопланетным* (или допланетным) *облаком*. Планеты обращаются вокруг Солнца почти в одной плоскости, а значит, и само газопылевое облако имело уплощённую, чечевицеобразную форму, поэтому его называют ещё диском. Учёные полагают, что и Солнце, и диск образовались из одной и той же вращающейся массы межзвёздного газа — протосолнечной туманности.

Начальная фаза протосолнечной туманности — предмет исследования астрофизики и звёздной космогонии. Изучение же её эволюции, приведшей к появлению планет, — центральная задача космогонии планетной.

Возраст Солнца насчитывает чуть меньше 5 млрд лет. Возраст древнейших метеоритов почти такой же: 4,5—4,6 млрд лет. Столь же стары и рано затвердевшие части лунной коры. Поэтому принято считать, что Земля

Сжатие и вращение газопылевого диска.





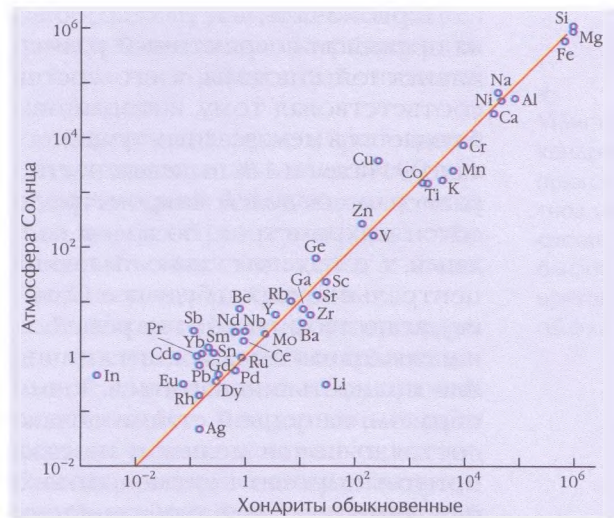
и другие планеты сформировались 4,6 млрд лет назад. Солнце относится к звёздам так называемого второго поколения Галактики. Самые старые её звёзды значительно (на 8—9 млрд лет) старше Солнечной системы. В Галактике есть и молодые звёзды, которым всего 100 тыс. — 100 млн лет (для звезды это совсем юный возраст). Многие из них похожи на Солнце, и по ним можно судить о начальном состоянии нашей системы. Наблюдая несколько десятков подобных объектов, учёные пришли к следующим выводам.

Размер допланетного облака Солнечной системы должен был превышать радиус орбиты Плутона, ранее считавшегося последней планетой. Сейчас за его орбитой обнаружены сотни небольших тел, образующих целый пояс. Химический состав молодого Солнца и окружавшего его газопылевого облака-диска, по-видимому, был одинаков. Общее содержание водорода и гелия достигало в нём 98 %. На долю всех остальных, более тяжёлых элементов приходилось лишь 2 %; среди них преобладали летучие соединения, включающие углерод, азот и кислород: метан, аммиак, вода, уголекислота.

Расчёты показывают, что в пределах орбиты Плутона, т. е. диска радиусом 40 а. е., общая масса всех планет вместе с утерянными к настоящему времени летучими веществами должна была составлять 3—5 % от массы Солнца. Такую модель облака называют облаком умеренно малой массы, она подтверждается и наблюдениями околозвёздных дисков.

Если бы масса облака была сопоставима с массой центрального тела, то должна была бы образоваться звезда — компаньон Солнца (или же надо найти объяснение выбросу огромных излишков вещества из Солнечной системы).

Наименее изучена самая ранняя стадия — выделение протосолнечной туманности из гигантского ро-



Сравнительное содержание нелетучих элементов на Солнце и в метеоритах-хондритах. Приблизительное совпадение говорит о том, что вся Солнечная система образовалась из единого газопылевого комплекса.

дительского молекулярного облака, принадлежащего Галактике.

ОБРАЗОВАНИЕ ДОПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

В 1940-х гг. академик Отто Юльевич Шмидт выдвинул ставшую общепринятой гипотезу об образовании Земли и других планет из холодных твёрдых допланетных тел, называемых планетезиμαлиями. Распространённая ранее точка зрения, что планеты — это небольшие остатки некогда раскалённых гигантских газовых сгустков солнечного состава, потерявших летучие вещества, пришла в противоречие с науками о Земле.

Земля, как показывают исследования, никогда не проходила через огненно-жидкое, т. е. полностью расплавленное, состояние. Исследуя шаг за шагом эволюцию допланетного диска, учёные получили последовательность основных этапов развития газопылевого диска, окружавшего Солнце, в систему планет.



Первоначальный размер облака превышал современный размер планетной системы, а его состав соответствовал тому, который наблюдается в межзвёздных туманностях: 99 % газа и 1 % пылевых частиц размерами от долей микрометра до сотен микрометров. Во время коллапса, т. е. падения газа с пылью на центральное ядро (будущее Солнце), вещество сильно разогревалось, и межзвёздная пыль могла частично или полностью испариться. Таким образом, на первой стадии облако состояло почти целиком из газа, притом хорошо перемешанного благодаря высокой турбулентности — разнонаправленному, хаотичному движению частиц.

По мере формирования диска турбулентность стихает. Это занимает немного времени — около 1000 лет. При этом газ охлаждается, и в нём вновь образуются твёрдые пылевые частицы. Таков **первый этап** эволюции диска.

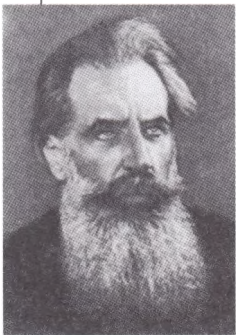
Для остывающего допланетного облака характерно очень низкое давление — менее десятитысячной доли атмосферы. При таком давлении вещество из газа конденсируется непосредственно в твёрдые частички, минуя жидкую фазу. Первыми конденсируются самые тугоплавкие соединения кальция, магния, алюминия и титана, затем магниевые силикаты, железо и никель. После этого в газовой среде остаются лишь сера, свободный кислород, азот, водород, все инертные газы и некоторые летучие элементы.

В процессе конденсации становятся активными пары воды, окисляющие железо и образующие гидратированные соединения. Основные же космические элементы — водород и гелий — остаются в газообразной форме. Для их конденсации потребовались бы температуры, близкие к абсолютному нулю, ни при каких условиях недостижимые в облаке.

Химический состав пылинок в допланетном диске определялся температурой, которая падала по мере удаления от Солнца. К сожалению, рассчитать изменение температуры в допланетном облаке очень трудно. Химический состав планет земной группы показывает, что они состоят в основном из веществ, конденсировавшихся при высоких температурах. В составе ближней части пояса астероидов преобладают каменные тела. По мере удаления от Солнца в поясе астероидов увеличивается число тел, которые содержат обогащённые водой минералы и некоторые летучие вещества. Их удалось обнаружить в метеоритах, являющихся осколками астероидов. Но среди астероидов, по-видимому, нет или очень немного ледяных тел. Следовательно, граница конденсации водяного льда должна была проходить за ними, не ближе внешнего края пояса астероидов — в три с лишним раза дальше от Солнца, чем Земля.

В то же время крупнейшие спутники Юпитера — Ганимед и Каллисто — наполовину состоят из воды. Они находятся на гораздо большем расстоянии от Солнца, чем пояс астероидов. Значит, водяной лёд конденсировался во всей зоне образования Юпитера. Начиная с орбиты Юпитера и дальше в допланетном облаке должны были преобладать ледяные пылинки с вкраплениями более тугоплавких веществ. В области внешних планет, при ещё более низкой температуре, в составе пылинок оказались льды метана, аммиака, твёрдая уголекислота и другие замёрзшие летучие соединения. Подобный состав в настоящее время имеют кометные ядра, залетающие в окрестности Земли с далёкой периферии Солнечной системы.

Первые конденсаты — пылинки, льдинки — сразу после своего появления начинали медленно двигаться сквозь газ к центральной плоскости допланетного диска. Чем крупнее бы-



Отто Юльевич Шмидт.



ли частицы, тем быстрее они оседали, так как при своём движении в газовой среде более крупные частицы (в отличие от мелких) испытывают меньшую силу сопротивления на единицу их массы.

На **втором этапе** завершилось образование тонкого пылевого слоя — *пылевого субдиска* — в центральной плоскости газопылевого диска. Расслоение сопровождалось увеличением размеров частиц до нескольких сантиметров. Сталкиваясь друг с другом, частицы слипались, при этом скорость их движения к центральной плоскости увеличивалась и рост тоже ускорялся.

В некоторый момент плотность пыли в субдиске приблизилась к критическому значению, превысив плотность газа уже в десятки раз. При достижении критической плотности пылевой слой делается гравитационно неустойчивым. Даже очень слабые уплотнения, случайно возникающие в нём, не рассеиваются, а, наоборот, со временем сгущаются. Сначала в нём могла образоваться система колец, которые, уплотняясь, также теряли свою устойчивость и на **третьем этапе** эволюции диска распадалась на множество отдельных мелких сгустков.

Из-за вращения, унаследованного от вращающегося диска, эти сгустки не могут сразу сжаться до плотности твёрдых тел. Но, сталкиваясь друг с другом, они объединяются и всё более уплотняются. На **четвёртом эта-**

пе образуется рой допланетных тел размером около километра; первоначальное число их достигает многих миллионов.

Описанный путь образования тел возможен, если пылевой субдиск очень плоский: его толщина должна быть во много раз меньше диаметра. Такие объекты существуют и ныне, например кольца Сатурна.

Есть и другой путь формирования допланетных тел помимо гравитационной конденсации — это прямой, медленный и непрерывный рост первоначально очень мелких частиц благодаря столкновениям между ними. Они могут слипаться лишь при небольших скоростях соударений, при достаточно разрыхлённой поверхности контакта или в случае повышенной силы сцепления.

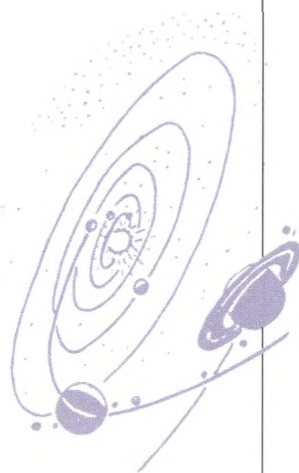
Такие допланетные тела, каким бы из двух путей они ни возникли, послужили строительным материалом для формирования планет, спутников и родительских тел метеоритов.

Учёные предполагают, что допланетные тела, образовавшиеся на периферии облака при очень низкой температуре, сохранились до сих пор в кометном облаке, куда они были заброшены гравитационными возмущениями планет-гигантов.

АККУМУЛЯЦИЯ ПЛАНЕТ

Образование допланетных тел в газопылевом облаке продолжалось десятки тысяч лет — крайне незначительный срок в космогонической шкале времени. Дальнейшее объединение тел в планеты — *аккумуляция планет* — гораздо более длительный процесс, занявший сотни миллионов лет. Детально восстановить его очень трудно: последующая геологическая стадия, длящаяся уже более 4 млрд лет, к настоящему времени стёрла особенности начального состояния планет.

◀ Углистый хондрит — представитель типа метеоритов, состав которых близок к составу протопланетного облака.





Допланетный рой представлял собой сложную систему большого числа планетезималей. Они обладали неодинаковыми массами и двигались с разными скоростями по орбитам, которые могли заметно отличаться от окружностей. В допланетном облаке самыми многочисленными были наиболее мелкие частицы и тела. Крупных тел, сравнимых с Лунной или Марсом, было мало. Однако эволюция системы допланетных тел постепенно вела к тому, что именно в немногих крупных телах в конце концов сосредоточилась основная масса всего планетного вещества. Эта иерархия сохранилась и до наших дней: совокупная масса планет намного выше общей массы всех малых тел — спутников, астероидов, комет и пылевых частиц.

Крупные тела своим гравитационным влиянием постепенно увеличивают случайные (хаотические) скорости планетезималей. Каждое сближение двух тел меняет характер их движения по околосолнечным орбитам. Как правило, орбиты становятся более вытянутыми и более наклонёнными к центральной плоскости. Таким образом, в течение этого этапа идёт «раскачка» системы от очень плоского диска к более утолщённому. При этом тела приобретают тем большие хаотические скорости, чем меньше их масса, и наоборот.

Растут тела очень неравномерно. Самое крупное из них в любой кольцевой зоне, где орбиты остальных тел пересекаются с его орбитой, получает привилегированное положение и в перспективе может стать зародышем планеты.

Роль соударений можно пояснить на примере современного пояса астероидов, где последствия ударов не одинаковы для разных тел. В нынешнее время хаотические скорости астероидов составляют примерно 5 км/с; с такими же скоростями они сталкиваются с мелкими телами.

Энергия удара при падении небольшого тела на поверхность астероида обычно так велика, что разрушается не только само упавшее тело, но и часть астероида. Образуется ударный кратер, выбросы из которого разлетаются со скоростями сотни метров в секунду. Разлетающееся вещество вновь падает на поверхность астероида только в том случае, если он обладает достаточным тяготением.

Все астероиды современного пояса теряют массу при столкновениях, поскольку их гравитационное поле недостаточно, чтобы удержать разлёт вещества. Лишь несколько самых больших (с радиусами более 200 км) в лучшем случае способны сохранить свою массу. Точно так же и столкновения планетезималей приводили к росту лишь наиболее крупных из них.

ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНЕТ

Внутреннюю часть Солнечной системы образуют планеты земной группы — Меркурий, Венера, Земля и Марс. Состав этих планет свидетельствует, что их рост происходил в отсутствие лёгких газов за счёт каменных частиц и тел, содержавших различное количество железа и других металлов.

Главное условие роста тел при столкновениях — их низкие относительные скорости на начальном этапе. Чем меньше масса тел, тем меньше должна быть скорость столкновений, чтобы их масса росла. Чтобы тела достигли километровых размеров, хаотические скорости не должны превышать 1 м/с. Это возможно, только если нет сильного воздействия извне. В зоне роста планет земной группы внешние воздействия были слабы, лишь в зоне Марса сказались влияние Юпитера, замедлявшее его рост и уменьшавшее массу. В поясе асте-



роидов, наоборот, явно прослеживается возмущающее влияние соседней планеты-гиганта Юпитера.

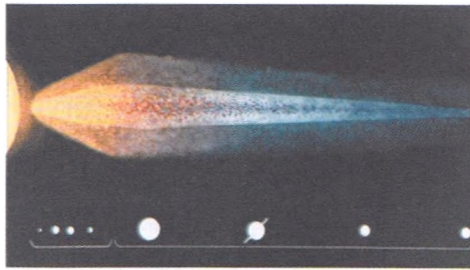
Стадия объединения планетезималей в планеты и их роста длилась около 100 млн лет.

Период *диссипации* (рассеяния) газа из зоны земных планет был более коротким: максимум 10 млн лет. В основном газ выдувался солнечным ветром, т. е. потоками заряженных частиц (протонов и электронов), выбрасываемых с поверхности Солнца со скоростями сотни километров в секунду.

Солнечный ветер очистил от газа не только область планет земной группы, но и более отдалённые пространства планетной системы. Однако планеты-гиганты Юпитер и Сатурн к этому времени уже успели вобрать в себя огромное количество вещества, подавляющую часть массы всей планетной системы.

Как же формировались планеты-гиганты? Их зародыши могли возникать двумя путями: через гравитационную неустойчивость газовых масс допланетного диска или путём нарастающего захвата газовой атмосферы на массивном ядре из планетезималей.

В первом случае масса допланетного облака должна была составлять значительную долю массы Солнца, а состав планет-гигантов должен совпадать с солнечным. Ни то ни другое не соответствует фактам. Исследования показали, что в ядре Юпитера, по-видимому, присутствуют элементы тяжелее водорода и гелия, составляющие не менее 6 % массы планеты, а в ядре Сатурна — 15—20 %. Это существенно больше, чем можно было бы ожидать при солнечном содержании химических элементов. Значит, более вероятен второй путь: сначала образуется массивное ядро-зародыш из каменных и ледяных планетезималей, а затем оно наращивает водородно-гелиевую оболочку.



Различие условий формирования двух групп планет. С удалением от Солнца растёт непрозрачность газопылевого диска и падает температура.

Процесс присоединения вещества называют *аккрецией*. Начиная с одной-двух масс Земли тело может не только удерживать газовую атмосферу на поверхности, но и в ускоряющемся темпе захватывать новые порции газа, если на пути его движения имеется газовая среда. Аккреция прекращается лишь тогда, когда газ полностью исчерпан. Продолжительность этого процесса намного короче, чем стадия образования ядра-зародыша. По расчётам учёных, рост ядра Юпитера длился несколько миллионов, а ядра Сатурна — до 10 миллионов лет.

Пока ядро, погружённое в газ, невелико, оно присоединяет лишь небольшую атмосферу, находящуюся в равновесии. Но при некоторой критической массе (две-три массы Земли) газ начинает в возрастающем темпе выпадать на тело, сильно увеличивая его массу. На стадии быстрой аккреции всего за несколько сот лет Юпитер мог вырасти до массы, превышающей 50 масс Земли, поглотив газ из сферы своего гравитационного влияния. Затем скорость аккреции упала, так как газ мог поступать к планете лишь путём медленной диффузии из более широкой зоны диска.

Одновременно Юпитер продолжал расти за счёт твёрдых планетезималей, а те, что не были им поглощены, могли быть отброшены его тяготением либо внутрь, в зону астероидов и зону Марса, либо прочь из Солнечной системы. Юпитер сообщал твёрдым телам скорости больше скорости освобождения от Солнца:



для того чтобы покинуть Солнечную систему с орбиты Юпитера, достаточно скорости всего 18 км/с, а тело, пролетающее от Юпитера на расстоянии нескольких его радиусов, разгоняется до десятков километров в секунду.

Сатурн формировался аналогичным образом. Но его ядро росло не так быстро и достигло критической массы позднее. К этому времени из-за действия солнечного ветра газа осталось меньше, чем в зоне Юпитера к началу его аккреции. Вот почему по сравнению с Юпитером Сатурн содержит в несколько раз больше конденсируемого вещества и ещё сильнее отличается по составу от Солнца.

Уран и Нептун росли ещё медленнее, а газ из внешней зоны диссипировал быстрее. Когда эти планеты достигли критической массы, газа в их зонах почти не осталось. Поэтому на

долю водорода и гелия приходится около 20 % массы Урана, Нептун же содержит их лишь около 6 %. Главными составляющими этих тел являются вода, метан и аммиак, а также окислы тяжёлых элементов; газы входят в планетные атмосферы.

Двухступенчатая схема образования планет-гигантов (формирование ядер из конденсированных веществ и газовая аккреция на эти ядра) подтверждается фактами. Во-первых, выяснилось, что современные массы ядер Юпитера и Сатурна, а также массы Урана и Нептуна без их атмосфер имеют близкие значения: 14–20 масс Земли, тогда как доля газов — водорода и гелия — в них закономерно уменьшается по мере удаления от Солнца. Во-вторых, существуют такие «вещественные доказательства» ранней истории планет-гигантов, как их спутники и кольца. Аккреция газа на

КАК ПОЯВИЛИСЬ СПУТНИКИ ПЛАНЕТ

В современной планетной космогонии формирование спутников мыслится как сопутствующий процесс. О. Ю. Шмидт писал: «При образовании планет, в процессе сближения частиц с крупными зародышами планет, некоторые из частиц, сталкиваясь, настолько теряли скорость, что выпадали из общего роя и начинали обращаться вокруг планеты. Таким образом, около планетного зародыша образуется сгущение — рой частиц, обращающихся около него по эллиптическим орбитам. Эти частицы также сталкиваются, изменяют свои орбиты. В уменьшенном масштабе в этих роях будут происходить те же процессы, что и при образовании планет. Большинство частиц упадёт на планету (присоединится к ней), часть же их будет образовывать околопланетный рой и объединяться в самостоятельные зародыши — будущие спутники планет...»

Развитие этой идеи показало, что появление околопланетных роев во время образования планет неизбежно, вопрос лишь в том, сколько массы может быть захвачено той или иной планетой (чем крупнее планета, тем больше) и сколько спутников уцелеет в дальнейшем.

Важную роль в эволюции спутниковых систем играет приливное трение. Солнечные приливы затормозили вращение близких к Солнцу планет — Меркурия и Венеры, а те, в свою очередь, воздействовали на их спутники, если они существовали в прошлом, замедляя их обращение. Спутники должны были постепенно приблизиться к планетам и упасть на их поверхность. Луна же, наоборот, из-за быстрого вращения Земли постепенно удаляется от нашей планеты вследствие приливного трения.

Сама Луна могла образоваться лишь из массивного околоземного роя тел. Его возможное происхождение — предмет научных обсуждений. Спутники Марса очень малы и по своим свойствам напоминают астероиды. Не исключено, что они — продукт столкновений тел астероидного пояса, залетевших в зону Марса. Следовательно, спутники планет земной группы столь различны, что для понимания их образования нужен индивидуальный подход. Спутники планет-гигантов, напротив, многочисленны и дают богатый материал для проверки общих космогонических идей.

Согласно схеме Шмидта, необходимо учитывать также присутствие газа, преобладавшего над твёрдым веществом в зоне образования планет-гигантов и их спутников. Вместо околопланетных роев из твёрдых



планеты сопровождается образованием вокруг них газопылевых дисков, в которых формируются спутники.

На стадии быстрой аккреции освобождалось огромное количество энергии, и верхние слои планет сильно нагревались. Максимальная температура поверхности Юпитера, по-видимому, составляла несколько тысяч градусов — почти как у звёзд. В диске Юпитера, где формировались его спутники, на близких расстояниях от планеты температура была выше точки конденсации водяного пара, а на более далёких — ниже. И действительно, ближние спутники Юпитера, включая Ио и Европу, состоят из каменных веществ, а более отдалённые — Ганимед и Каллисто — наполовину из водяного льда. У Сатурна в диске температура была ниже, поэтому лёд там конденсировался на всех расстояниях (части-

цы колец Сатурна и все его близкие спутники — ледяные).

ОБРАЗОВАНИЕ АСТЕРОИДОВ И КОМЕТ

Общая масса всех астероидов, заполняющих зону на расстоянии 2—4 а. е. от Солнца, не превышает массы Луны. Если вещество в допланетном диске распределялось достаточно равномерно, то первоначально в зоне астероидов могло содержаться в 100—1000 раз больше вещества, чем в настоящее время.

Пояс астероидов — это несостоявшаяся планета. Такое определение впервые дал О. Ю. Шмидт, предположивший, что процессу аккумуляции планеты помешало соседство массивного Юпитера. Сегодня ясно, что дело обстояло сложнее.

частиц вокруг планет должны были образовываться газопылевые аккреционные диски, в которых спутники формировались из пылевых субдисков. Газовая составляющая в них не вошла, поскольку массы спутников слишком малы, чтобы началось присоединение газа.

Аккумуляция спутников из околопланетных дисков повторяла многие черты образования планет: движение почти в одной плоскости, совпадающей с экватором материнской планеты, и в одном направлении; закономерно увеличивающиеся интервалы между орбитами по мере удаления от планеты. В системе Юпитера явно прослеживается раннее прогревание диска, обеспечивающее каменный состав ближних спутников — Амальтеи, Ио, Европы. Это позволяет сравнивать растущий Юпитер с «маленьким Солнцем».

Однако аналогия спутниковых систем и планетной системы не может быть полной, так как все процессы вблизи планет во многом зависят ещё и от Солнца. Размеры спутниковых систем в десятки и сотни раз меньше расстояний между планетами, соответственно, длительность процессов в них намного короче. Некоторые близкие спутники Сатурна (Мимас, Энцелад и др.) за время формирования системы могли успеть вырасти, разрушиться при бомбардировке допланетными телами и вновь аккумулироваться на

своих орбитах. Отдалённые спутники, которые обычно обращаются по вытянутым и сильно наклонённым или даже обратным орбитам, находятся под влиянием столь сильных гравитационных возмущений Солнца, что их орбиты меняют свои параметры буквально при каждом обороте вокруг планеты. Эти спутники в отличие от регулярных, образовавшихся в дисках, могли быть захвачены планетами-гигантами при столкновениях астероидов, залетевших в окрестности планет (так объясняются, например, две группы отдалённых спутников Юпитера).

В некоторых системах обнаруживаются следы очень крупных столкновений: удивительно маленький наклон оси Урана к эклиптике, повлиявший также на ориентацию орбит всех его спутников и колец; противовращение Тритона по сравнению с вращением Нептуна вокруг своей оси и др. Снимки поверхностей спутников, полученные с помощью космических аппаратов «Вояджер», «Галилео» и «Кассини», дали ценную информацию об эволюции этих тел. Её изучают по истории рельефа, изобилующего как проявлениями тектонической и вулканической активности, так и следами многочисленных соударений — кратерами. Статистика кратеров позволяет определять геологический возраст поверхностей.



Высокие хаотические скорости астероидов (5 км/с) не могли быть порождены современными возмущениями Юпитера даже за весьма длительные промежутки времени. Сами астероиды совершенно не способны совершить подобную «раскачку» (гравитационные возмущения для этого слишком малы). Следовательно, искать причину больших хаотических скоростей, а заодно и «опустошения» астероидного пояса нужно в прошлом, в процессе аккумуляции планет. В нём скрыт ответ на вопрос, почему рост Юпитера действительно мог обогнать образование планеты, более близкой к Солнцу.

При одинаковой плотности конденсированного вещества в зоне «питания» планета формируется тем быстрее, чем короче её период обращения вокруг Солнца. У астероидов период обращения составляет 3—6 лет, а у Юпитера — около 12 лет. Во всех моделях допланетного диска плотность с увеличением расстояния от Солнца убывает. Как же объяснить преимущество Юпитера и его быстрый рост?

Дело в том, что в пределах зоны астероидов летучие вещества присутствовали в газообразном состоянии, тогда как на расстоянии Юпитера проходила граница конденсации паров воды. Это привело к тому, что рост допланетных тел в зоне Юпитера происходил быстрее: гравитационная неустойчивость проявилась раньше, а сгущения (в основном ледяные) были крупнее, чем в зоне астероидов; твёрдые тела, в которые они превращались, росли намного стремительнее.

Гравитационные возмущения Юпитера особенно сильно действуют на астероиды, периоды обращения которых вокруг Солнца соизмеримы с периодом Юпитера. Их орбиты становятся вытянутыми, они могут пересекать орбиту Марса и даже Земли. Их осколками являются метеориты,

до сих пор выпадающие на Землю. Состав метеоритов свидетельствует о том, что астероиды сформировались как отдельные тела 4,6 млрд лет назад, т. е. в ту же эпоху, что и планеты.

Другой тип тел, оставшихся от эпохи формирования планет, — это кометы. Кометы представляют собой небольшие тела поперечником 5—10 км. Состоят они в основном из водяного льда с вкраплениями льдов летучих соединений, способных конденсироваться лишь при очень низких температурах. Кометные орбиты — не параболы, а скорее очень вытянутые эллипсы с большими полуосями порядка 100 тыс. астрономических единиц (кроме короткопериодических комет с небольшими размерами орбит). Поэтому кометы должны принадлежать Солнечной системе.

По современным представлениям, кометы — побочный продукт образования планет-гигантов. Это ледяные планетезимали, заброшенные формировавшимися планетами — Юпитером, Сатурном, Ураном и Нептуном — на очень далёкую периферию нашей системы. Там кометы образуют гигантское разреженное облако, так называемое облако Оорта.

НАЧАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЛИ

Начало геологической эволюции Земли тесно связано с процессом её образования. Если бы наша планета образовалась «огненно-жидким» способом, как представлялось ещё в начале XX в., она бы сразу расслоилась на оболочки по химическому составу, пришла в равновесное состояние и стала «тектонически мёртвой». Против такого взгляда выступали В. И. Вернадский и другие известные учёные. Концепция О. Ю. Шмидта о первоначально холодной Земле родилась именно из-за противоречий между нынешней тектонической жизнью Земли и



Ян Оорт — выдающийся нидерландский астроном, именем которого названо кометное облако, окружающее Солнечную систему.



той моделью, которая следовала из горячего, расплавленного начального состояния.

Современные расчёты показали, что рождающаяся Земля не была ни расплавленной, ни холодной. Гравитационная энергия могла нагреть Землю до 40 тыс. кельвинов, если бы она мгновенно собралась из кусков в одно тело. Но рост Земли продолжался 100 млн лет, так что средняя температура поверхности даже на стадии активного роста не превышала 350—400 К. Небольшая часть гравитационной энергии перешла в тепловую энергию земных глубин. Её недра прогрелись до 1000—2000 К благодаря тому, что в аккумуляции участвовали очень крупные тела (радиусами до 1000 км). Падение таких тел вызывало образование огромных ударных кратеров, под которыми до глубин 1—2 тыс. км создавались области повышенной температуры. Иногда температура достигала точки плавления горных пород. Тогда они разделялись по составу: тяжёлые элементы (железо и другие металлы) опускались к центру, а лёгкие всплывали. Дополнительное нагревание произошло в недрах Земли от сжатия её пород вышележащими слоями.

Но основной источник нагрева недр Земли — тепло, выделяемое при распаде радиоактивных элементов: урана, тория и калия с атомным весом 40, которые в малых количествах присутствуют в каменистом веществе планеты. В настоящее время в цент-

ре Земли температура достигает по меньшей мере 5000 К, т. е. она намного выше, чем в конце аккумуляции.

Вследствие высоких давлений в недрах Земли большая часть её массы находится в твёрдом состоянии, лишь внешняя область железного ядра расплавлена. В земной коре обнаружены вкрапления расплавленной магмы — вулканические очаги. Из-за убывания температуры от центра планеты к поверхности в мантии Земли возникает тепловая конвекция. Поскольку вещество мантии в основном твёрдое и неоднородно по составу, конвективные движения происходят очень медленно, создавая большие напряжения на границе с корой. Горобразование, землетрясения, перемещения континентов и отдельных блоков земной коры — результаты внутренних процессов в мантии.

Атмосфера и гидросфера постепенно выделились из недр нашей планеты, поскольку газы и вода входили в состав земных пород. Вода «доставлялась» на Землю также и падающими на нее ледяными телами (кометами). Расслоение Земли на железное ядро, силикатную мантию и кору из изверженных пород началось ещё при аккумуляции планеты и продолжается в течение всей её геологической истории.

Сегодня благодаря данным, полученным космическими аппаратами, можно узнать геологическую историю не только Земли, но и других планет и их спутников.

ПЛАНЕТЫ ЕСТЬ НЕ ТОЛЬКО У СОЛНЦА

ЧТО ТАКОЕ ПЛАНЕТА

Как это ни странно, но довольно долго не существовало строгого определения планеты. На качественном уровне здесь всё ясно: планета — это тело

с массой во много раз меньше массы известных звёзд, которое светится отражённым светом близкой звезды. Но со временем астрономы начали открывать всё менее массивные звёзды и всё более массивные планеты, по-



этому потребовалось провести между ними строгую границу. Её определили в 2006 г.: планетой называют небесное тело, обращающееся вокруг звезды или звёздного остатка (например, белого карлика), достаточно массивное, чтобы под действием собственной гравитации принять сфероидальную форму и очистить окрестности своей орбиты от подобных ему тел, но не настолько массивное, чтобы в его недрах протекали термоядерные реакции. Этим условиям в Солнечной системе удовлетворяют только Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

Расчёты и наблюдения показывают, что если масса космического тела не превышает 13 масс Юпитера, то в его недрах температура и давление никогда не достигнут таких значений, чтобы стали возможными термоядерные реакции. Это и есть верхняя граница массы планет. Если же масса газового шара окажется немного выше этого предела, то в его центре температура на некотором этапе эволюции превысит миллион градусов, и начнутся самые низкотемпературные ядерные реакции с участием дейтерия, лития и бора. Такие объекты называют *коричневыми карликами*; их обнаружено уже немало. Если же масса тела превышает 75 масс Юпитера (это примерно 7 % массы Солнца), в его недрах возможно термоядерное горение обычного водорода; такое тело называют *звездой*.

Разумеется, у планеты тоже есть свои, не термоядерные источники энергии, такие, как распад радиоактивных элементов и гравитационное сжатие. Например, Юпитер излучает заметно больше энергии, чем получает от Солнца, но звездой при этом не является.

Со стороны малых значений параметров наблюдаемые планеты ограничены размером 500–1000 км и массой порядка 1 % массы Луны. У тел меньшей массы сила тяготения так слаба, что не

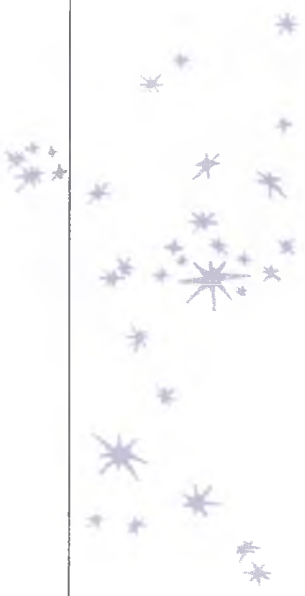
может преодолеть твёрдость вещества и обеспечить телу шарообразную форму. У таких тел нет атмосферы и геологической активности, поэтому их и не считают планетами.

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА УНИКАЛЬНА?

До настоящего времени единственной хорошо изученной планетной системой является Солнечная система. Она включает восемь планет, сотни их спутников и сотни тысяч малых тел, обращающихся вокруг Солнца. Но Солнце по всем параметрам всего лишь обычная звезда, и это внушает уверенность, что наша планетная система — не космическое чудо, не уникальное природное явление, а одна из многих подобных систем в Галактике. Вопрос о планетах вблизи других звёзд — их принято называть экзопланетами — уже несколько веков привлекает внимание учёных, ведь с ним связана проблема существования внеземной жизни, иных цивилизаций.

Связь эта, впрочем, не прямая. Цивилизации должны быть явлением редким, в противном случае следы их космической деятельности уже были бы найдены. Наличие вокруг звёзд планет, даже похожих на Землю, ещё не означает, что на них есть жизнь. Однако изучение планет у других звёзд важно не только для поиска «братьев по разуму», но и для правильного понимания космогонических процессов.

Больше всего затрудняют поиск иных планетных систем гигантские расстояния до них. Так, расстояние до ближайшей к Солнцу звезды в 270 тыс. раз превышает расстояние от Земли до Солнца (астрономическую единицу). Если бы у самых близких к Солнцу звёзд были такие же планеты, как в Солнечной системе, и они так же освещались лучами своих солнц, то





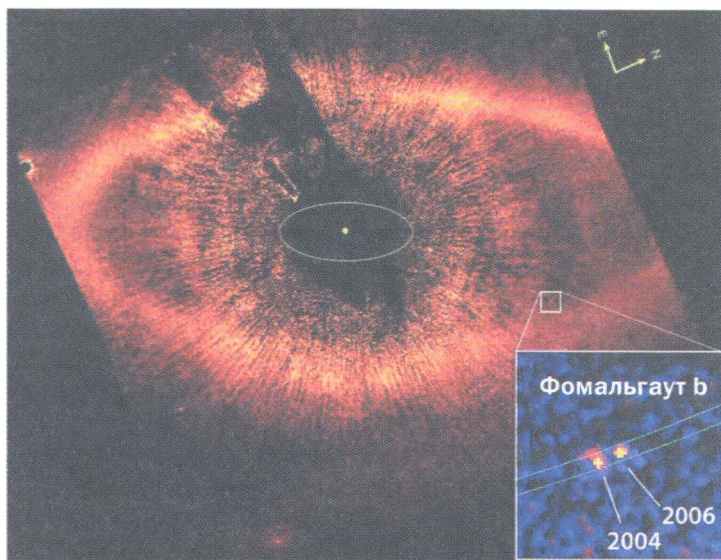
даже планета величиной с Юпитер выглядела бы с Земли слабой звёздочкой 22—24-й звёздной величины. В принципе наблюдения столь слабых источников доступны крупным телескопам, но в данном случае их излучение тонуло бы в свете рядом расположенной звезды, яркость которой в сотни миллионов раз выше, чем у планет. Тем не менее разработано несколько методов поиска планет у сравнительно близких звёзд. Некоторые из них уже успешно реализуются.

ГАЗОПЫЛЕВЫЕ ДИСКИ У ЗВЁЗД

Первый, хотя и косвенный аргумент в пользу распространённости планетных систем был получен космической обсерваторией IRAS при наблюдении звёзд в далёкой инфракрасной области спектра, на длинах волн в десятки микрометров. Сами звёзды слабо светят в этом диапазоне спектра, но нагретое ими до температур десятки или сотни кельвинов околозвёздное вещество может выглядеть ярким инфракрасным источником. Наблюдения показали, что от некоторых звёзд приходит инфракрасное излучение, источником которого служит диск, содержащий твёрдые пылинки. Но именно из газопылевого диска, когда-то окружавшего молодое Солнце, возникли Земля и другие планеты Солнечной системы. Не являются ли диски у звёзд признаком того, что вблизи них образуются планеты?

В одном случае, у сравнительно близкой к нам звезды β Живописца (её светимость в десятки раз выше, чем у Солнца), излучение пылевого диска удалось обнаружить не только в инфракрасных, но и в видимых лучах — как наземными телескопами, так и космическим телескопом «Хаббл».

Наибольший интерес представляют газопылевые диски у формиру-



В мощном пылевом диске вокруг звезды Фомальгаут космический телескоп «Хаббл» сфотографировал планету (в белой рамке). Жёлтый кружок в центре снимка обозначает положение Фомальгаута (сама звезда закрыта экраном), жёлтый эллипс, показанный для масштаба, имеет размер орбиты Нептуна. За два года наблюдений экзопланета сместилась очень незначительно, так как период её обращения по орбите составляет около 900 лет.

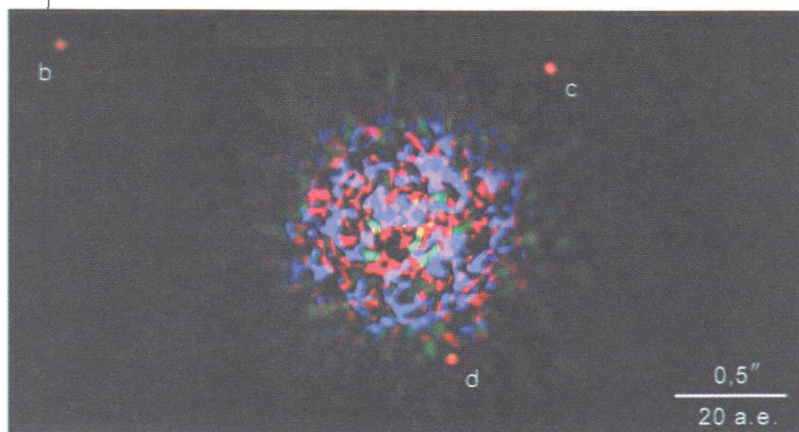
ющихся звёзд: только в них может в настоящее время происходить зарождение планетных систем. В 1990-х гг. на телескопе «Хаббл» были впервые получены резкие изображения пылевых дисков вокруг молодых звёзд. Эти диски состоят из того же вещества, из которого сформировались сами звёзды, — холодного молекулярного газа и пыли. Их видимые диаметры достигают нескольких сотен астрономических единиц, так что вся наша планетная система — от Меркурия до Нептуна — заняла бы только центральную, наиболее плотную часть такого диска.

Конечно, наличие околозвёздного диска — это ещё не доказательство существования планет: если его плотность низка, планеты просто не смогут образоваться. Следующий шаг в этих исследованиях — непосредственное обнаружение экзопланет. И этот шаг был сделан.



МЕТОДЫ ПОИСКА ПЛАНЕТ

Первый способ поиска экзопланет — астрометрический. Он уже давно опробован для поиска двойных звёзд, где один из компонентов имеет низкую яркость и на изображении невидим. Но, обращаясь вокруг яркой звезды, он своей гравитацией отклоняет её от прямолинейного пути то в одну, то в другую сторону. Измеряя траекторию движения звезды, можно выявить эти отклонения, если они не слишком малы. Интервал, с которым происходят такие колебания, равен периоду обращения невидимой звезды или планеты. При известной массе видимой звезды это позволяет определить расстояние от неё до спутника, которое связано с периодом через третий закон Кеплера. Зная размах колебаний звезды, несложно вычислить и массу спутника. Однако колебания звезды, вызываемые планетой, очень малы, и их трудно измерить. Первое надёжное астрометрическое обнаружение экзопланеты состоялось лишь в 2009 г.



Звезда HR 8799 и её планетная система. Изображение, представленное здесь в условных цветах, было получено на телескопах «Кек» и Gemini с использованием системы адаптивной оптики и техники цифровой обработки данных. Разноцветное пятно в центре — это то, что осталось от изображения звезды после операции её «глушения». Изображения планет отмечены буквами b, c, d.

Второй метод обнаружения экзопланет — прямое выделение их слабого оптического излучения. Чтобы свести влияние света самой звезды к минимуму, планируются наблюдения в инфракрасной области спектра, а также использование специальных оптических методов, называемых интерференционными, благодаря которым увеличивается способность телескопов разделять близкие источники света. Но этот прямой путь поиска планет также очень непросто реализовать.

Первый результат был опубликован в 1995 г.: телескоп «Хаббл» получил изображение слабого источника рядом со звездой низкой светимости в созвездии Геркулеса на расстоянии 19 световых лет от Солнца. Её обозначают по номеру в каталоге ближайших звёзд Глизе, поэтому принятое название звезды — Глизе 623, а её спутника — Глизе 623В. Существование этого маломассивного спутника ранее предполагалось, исходя из астрометрических измерений траектории звезды. По светимости Глизе 623В в 60 тыс. раз уступает Солнцу, но всё-таки это оказалась не планета, а коричневый карлик. Для планеты он немного великоват: его масса как минимум в 40 раз превышает массу Юпитера. Любопытно, что в спектре этого «лилипута» найдены линии метана. Они наблюдаются в спектрах больших планет, но нехарактерны для звёзд. Наличие метана говорит о том, что видимая поверхность карлика нагрета совсем не до звёздных температур — менее 1000 К.

В перспективе этот метод предполагается использовать в готовящихся космических проектах, нацеленных на поиски планет.

Третий путь, по которому идут исследователи, — это слежение за переменностью блеска большого количества звёзд в течение долгого времени с целью уловить у некоторых из них характерное изменение



яркости, выдающее присутствие планеты. Известны два механизма влияния планеты на видимую яркость звезды.

Один связан с так называемым гравитационным микролинзированием. Планета, случайно оказавшаяся на одном луче зрения с какой-нибудь далёкой звездой, искажает идущий от звезды световой поток своим гравитационным полем, в результате чего на короткое время (порядка суток) возрастает видимая яркость звезды. Гравитационное поле даже такой небольшой планеты, как Земля, может действовать подобно движущейся линзе и способно вызвать разовое изменение блеска звезды дальнего фона, попавшей на луч зрения. Но событие это маловероятно, поэтому для его поиска надо в течение ряда лет регулярно наблюдать миллионы далёких звёзд, тогда для планеты больше шансов оказаться на луче зрения с какой-нибудь из них. Подобные наблюдения были начаты в 1990-х гг. и уже привели к открытию нескольких экзопланет. К сожалению, узнать что-либо об орбите планеты, даже если она обнаружена по микролинзированию, нельзя. Зато этот метод фактически единственный, позволяющий отыскать планету не только вблизи её «материнской» звезды (которая тоже вызывает эффект микролинзирования), но и когда она движется в межзвёздном пространстве как холодное и тёмное тело.

Второй механизм переменности действует, если орбита планеты так удачно ориентирована по отношению к наблюдателю, что планета периодически проходит на фоне диска звезды (аналогичные события наблюдаются с Земли, когда Меркурий или Венера проходят по диску Солнца). В этом случае планета регулярно затмевает небольшую часть звёздного диска, немного уменьшая приходящий световой поток. Из-

менения яркости звезды при этом очень малы, и их нелегко отличить от случайных колебаний блеска, связанных, например, с переменностью звезды или наличием на её поверхности тёмных пятен. Однако при достаточно длительных наблюдениях это возможно, поскольку затмения повторяются регулярно. Особенно эффективны наблюдения с космических обсерваторий, на точность измерения которых не влияет земная атмосфера.

Наконец, четвёртый способ найти планету — это отслеживать изменение скорости звезды с точностью до нескольких метров в секунду, что вполне реально для современной техники спектральных наблюдений. Притяжение планеты вызывает периодические изменения скорости звезды. Чем массивнее планета и чем ближе она к звезде, тем больше будет амплитуда этих изменений.

К примеру, Земля обращается вокруг Солнца со скоростью около 30 км/с, но и она своим притяжением «сдвигает» гигантское Солнце, заставляя его центр описывать небольшую окружность со скоростью около 10 см/с. Такую величину пока невозможно измерить экспериментально. Но вот Юпитер, как более массивная планета, своим притяжением сообщает Солнцу скорость около 12 м/с, а если бы он находился на орбите Земли, то скорость составила бы 28 м/с. Такие скорости уже можно измерять у других звёзд с использованием специальной техники получения спектров.

Измерение скоростей основано на эффекте Доплера: движение источника света вызывает изменение частоты электромагнитных волн, принятых наблюдателем, т. е. приводит к сдвигу спектральных линий. Правда, по эффекту Доплера измеряется не полная скорость, а только лучевая, т. е. скорость приближения или удаления источника, и это рож-





дает некоторую неопределённость в оценках. Тем не менее именно таким путём была открыта первая планета у звезды типа Солнца.

ПЕРВЫЕ ОТКРЫТИЯ

В 1995 г. швейцарские астрономы М. Майор и Д. Квеллоц сообщили об обнаружении периодических колебаний лучевой скорости звезды 51 Пегаса. Эта довольно яркая звезда (5,5 звёздной величины), очень похожая на Солнце, удалена от нас на 48 световых лет. Скорость звезды с периодом 4,23 суток меняется на 100 м/с. По этим данным легко вычислить, что расстояние планеты от звезды очень мало — всего 0,05 а. е., так что в Солнечной системе она располагалась бы глубоко внутри орбиты Меркурия. А масса планеты не менее половины массы Юпитера. Именно

большая масса и малый радиус орбиты облегчили обнаружение планеты.

Вскоре это открытие подтвердили американские астрономы Дж. Марси и П. Батлер. В Ликской обсерватории они начали многолетние наблюдения 120 близких звёзд типа Солнца или холоднее его, чтобы с предельно высокой точностью измерять колебания скоростей их движения, если таковые существуют. Эта программа поиска планет через несколько лет кропотливого труда начала приносить плоды. Точность измерения скоростей была доведена до 3—4 м/с. Вслед за 51 Пегаса колебания скорости, по-видимому связанные с планетами, были найдены у двух звёзд типа Солнца 5-й звёздной величины: 47 Большой Медведицы (период обращения планеты около трёх земных лет, радиус орбиты около 2 а. е.) и 70 Девы (период около трёх месяцев, радиус орбиты 0,4 а. е.), а затем и у целого ряда других звёзд.

К сожалению, этот метод не позволяет определить ориентацию орбиты, поэтому можно оценить только нижний предел массы каждой планеты. Но иногда на помощь приходят другие методы. Например, если планета регулярно проходит на фоне диска звезды, значит, Земля лежит в плоскости её орбиты. К тому же наблюдение за прохождением планеты позволяет определить её размер. Этим методом уже обнаружено и изучено более 80 экзопланет. Чем точнее измеряется яркость звезды, тем меньшего размера планету можно обнаружить. Уже открыты планеты, близкие по размеру и массе к Земле.

Число открытых планет возрастает на несколько десятков в год, и к концу 2010 г. их стало известно около полутысячи. Большинство из них открыто именно методом измерения лучевой скорости звёзд. Для нескольких десятков звёзд найдено по несколько планет в одной системе. Но очень мало обнаружено пла-

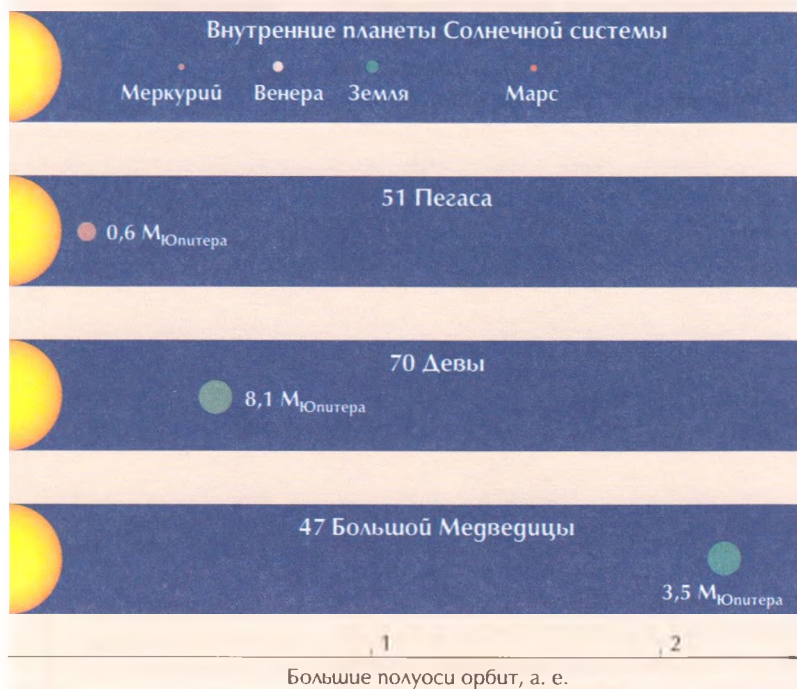


Схема планетных систем звёзд 51 Пегаса, 70 Девы и 47 Большой Медведицы в сравнении с Солнечной системой.



ПЛАНЕТЫ, КОТОРЫХ НИКТО НЕ ОЖИДАЛ

Наряду с планетами-гигантами вблизи звёзд существуют и планеты земного типа, хотя обнаружить их гораздо труднее — слишком малое влияние они оказывают на движение звёзд. Но оказалось, что могут существовать планеты небольшой массы не у обычных звёзд, а у... нейтронных. Они были найдены у нескольких нейтронных звёзд, которые наблюдаются как пульсирующие радиоисточники — пульсары. В спектрах этих компактных звёзд нет спектральных линий, более того, за редким исключением пульсары вообще не видны в оптическом диапазоне. Но излучаемые ими радиоимпульсы имеют настолько строгую периодичность, что для них также можно использовать эффект Доплера: частота следования импульсов меняется по тому же закону, что и частота световых волн. Регистрируя моменты прихода радиоимпульсов, за месяцы или годы наблюдений можно отследить изменение лучевой скорости пульсара во много раз точнее, чем скорости обычной звезды оптическими методами, а следовательно, открыть планеты меньших масс, если они присутствуют в системе пульсара.

Первое сообщение об открытии планетной системы вокруг пульсара появилось в 1992 г. Его сделал американский радиоастроном А. Вольжан,

исследовавший на 300-метровом радиотелескопе на острове Пуэрто-Рико излучение пульсара PSR 1257 + 12. Анализируя изменения периодичности импульсов по данным многомесячных наблюдений, он пришёл к выводу, что пульсар окружён орбитами как минимум трёх планет. Две из них по массе в три с половиной раза превосходят Землю (уже не Юпитер!) и располагаются на расстояниях 0,36 и 0,47 а. е. от пульсара, а третья — с массой лишь немногим больше массы Луны — имеет радиус орбиты 0,19 а. е. Остаётся, правда, неясным, имеют ли эти планеты ту же природу, те же свойства, что и планеты Солнечной системы, находясь рядом с таким экзотическим объектом, как пульсар, или это «огарки» от некогда более крупных тел. Как повлияла на них близость к звезде? Ведь прежде чем звезда стала пульсаром, она прошла стадию красного гиганта, а при этом её размер должен был превысить радиус орбиты по крайней мере самой близкой к ней планеты. Как пережили планеты взрыв сверхновой, при котором, как предполагают, возникает нейтронная звезда? Образовались ли они вблизи центральной звезды или приблизились к ней в процессе эволюции?

Позднее было найдено ещё несколько пульсаров с планетами, но массы планет, как и радиусы их орбит, оказались не столь малы, как в первой открытой системе (несколько масс Юпитера).

нет, сравнимых по массе с Землёй, в основном открытые планеты превышают Юпитер по массе. Само по себе это не удивительно: такие маленькие планеты, как Земля, труднее обнаружить. Однако поражает другое: большинство найденных планет-гигантов располагаются не далеко от звезды, как в Солнечной системе, а близко к ней — часто на расстоянии, соответствующем орбите Венеры или Меркурия, а иногда и ещё ближе. Более того, планеты нередко имеют вытянутые орбиты, в то время как в Солнечной системе они очень близки к окружностям.

Теперь перед учёными встало множество новых проблем. Почему у одних звёзд такого же типа, как Солнце, имеются планеты, сравнимые по

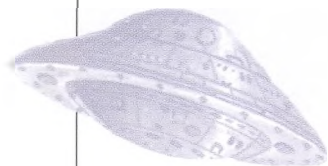
массе с Юпитером, а у других (и таких оказалось большинство) их нет? Как планеты-гиганты могли появиться на близком расстоянии от звезды, а если они возникли дальше от неё, что вероятнее всего, то что привело к уменьшению их орбит, в то время как орбиты планет-гигантов в Солнечной системе так и остались далеко от Солнца? Почему некоторые планеты (например, вокруг 70 Девы) движутся по довольно вытянутым эллипсам? Ясно одно: условия, в которых формировались планеты у звёзд, даже похожих на Солнце, были различными, так что планетные системы у других звёзд не обязательно похожи на нашу планетную систему. Дальнейшие исследования должны пролить свет на эти проблемы.



НЕОПОЗНАННЫЕ ЛЕТАЮЩИЕ ОБЪЕКТЫ (НЛО)

Начиная со второй половины XX в. о неопознанных летающих объектах (НЛО) часто сообщают радио- и телепередачи; им посвящены книги и бюллетени, а также лекции энтузиастов уфологии (от *англ.* unidentified flying object, или UFO, — «неотождествлённый летающий объект»). Речь в них в основном идёт о случайных наблюдениях необычных объектов или атмосферных явлений, об обнаружении непонятных сооружений, их остатков, следов на земле и даже о встречах с пришельцами из космоса.

Коллекционирующие такие сообщения уфологи — люди любознательные, искренне увлечённые поисками внеземных цивилизаций, но, как правило, они не являются специалистами в области метеорологии или астрономии. Обычно они целиком полагаются на рассказы очевидцев или, что ещё печальнее, на информацию журналистов, полученную из вторых рук и часто сильно искажающую реальные события. Большинство уфологов уверено в том, что, если с ходу не удаётся дать объяснение увиденному явлению, значит, мы имеем дело с проявлением внеземного разума.



ИЗ ИСТОРИИ УФОЛОГИИ

В истории человечества известно немало случаев «небесных знамений»: во все эпохи люди отмечали редкие и непонятные им явления на дневном и ночном небе — кометы, болиды, гало вокруг Солнца и Луны, облака редкой формы. Современный же всплеск интереса к НЛО начался сразу после Второй мировой войны, в эпоху расцвета авиации.

Днём 24 июня 1947 г. американец Кеннет Арнольд, пролетая на своём маленьком самолёте близ горы Рей-

нир (штат Вашингтон), заметил в воздухе девять объектов, размерами напоминавших транспортные самолёты. По форме один из них был похож на полумесяц с небольшим куполом посередине, а восемь других казались плоскими дисками, блестящими в лучах солнца. Двумя цепочками группа странных объектов двигалась, как показалось Арнольду, со скоростью около 2700 км/ч. Внешне они напоминали «бесхвостые самолёты», а движение их было «как у глиссера, мчавшегося по волнам», или «подобно блюдцу, брошенному по поверхности воды». Арнольд имел в виду, что объекты подпрыгивали, как бы рикошетируя от поверхности воды. Считается, что именно так и возник популярный ныне термин «летающее блюдце» (*flying saucer*), или, как чаще говорят, «летающая тарелка».

Сообщение Арнольда было опубликовано. После этого в редакции многих газет стали поступать сведения от очевидцев различных необъяснимых небесных явлений. Правда, в целом американская публика отнеслась к подобным сообщениям скептически, поскольку никаких реальных следов «блюдца» обнаружить не удалось. Но джинн уже был выпущен из бутылки: интерес к летающим тарелкам возрастал.

В наши дни журналисты и уфологи используют не только легкомысленное словосочетание «летающая тарелка». В середине 1950-х гг. Э. Дж. Руппельт предложил для обозначения всего «летающего и неопознанного» термин НЛО (UFO). Затем появились и другие названия, например ААЯ — аномальное атмосферное явление.

Первые шаги в изучении НЛО сделали американские военные. Сообщение Арнольда совпало с осложнениями в отношениях между СССР и США, т. е. с началом «холодной вой-



ны». Поэтому американские военные сразу же обратили внимание на публикации газет о необычных летающих объектах. 30 декабря 1947 г. командующий военно-воздушными силами США приказал приступить к изучению «атмосферных феноменов, которые могут представлять интерес с точки зрения национальной безопасности». Ходили слухи, будто НЛО — это секретные летательные аппараты, созданные в СССР.

Для проверки сообщений об НЛО в 1948 г. ВВС США приступили к осуществлению проекта «Синяя книга».

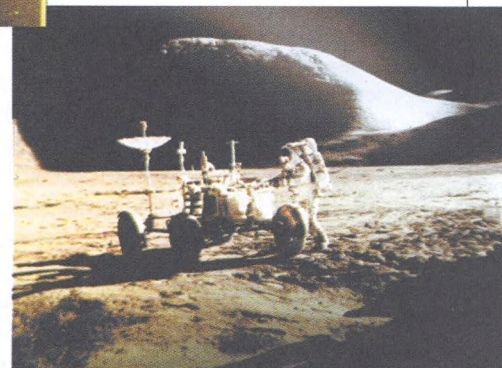
Заключение официальной комиссии по итогам проекта гласило, что сообщения об НЛО вызваны различными атмосферными и техническими явлениями, известными науке и безопасными для населения страны. Но многих энтузиастов такой вывод не удовлетворил. Газеты даже обвинили ВВС в том, что они скрывают доказательства внеземного происхождения НЛО и присутствия на Земле представителей иных цивилизаций. Чтобы оправдаться в глазах общественности, командование ВВС было вынуждено обратиться к независимым экспертам с просьбой о дополнительном расследовании. В октябре 1966 г. был заключён контракт с университетом Колорадо, по которому группа физиков под руководством Эдварда Кондона в течение двух лет занималась изучением сообщений об НЛО.

В январе 1969 г. был опубликован отчёт Кондона «Научное исследование неопознанных летающих объектов». На 1000 страниц отчёта было немало любопытного, однако в заключении Кондон отметил, что не существует никаких доказательств того, что НЛО являются космическими кораблями пришельцев или же источником военной угрозы. Следуя рекомендациям комиссии, 17 декабря 1969 г. ВВС упразднили проект «Синяя книга» и прекратили изу-



► На оригинале той же фотографии, который отличается более высоким качеством, видно, что это дальний склон, освещённый солнечными лучами.

◀ Газетное воспроизведение фотографии, сделанной астронавтами на Луне. Кругом обведено изображение странного диска — кандидата на роль космического корабля пришельцев.



чение НЛО. С тех пор в США этим занимаются только общественные организации.

КТО И ГДЕ ИЗУЧАЕТ НЛО СЕЙЧАС?

Энтузиасты уфологии во многих странах объединены в различные общества и клубы. Первые из них возникли в США ещё в начале 1950-х гг.: Организация по исследованию атмосферных явлений, Всеобщая сеть НЛО и др. В наши дни активно действует созданный в 1974 г. в Нортфилде (штат Иллинойс) Центр по изучению НЛО, первым руководителем которого был известный энтузиаст уфологии Дж. А. Хайнек. Центр регулярно проводит конференции, выпускает бюллетень «Международный информатор по НЛО» и ежегодник «Журнал исследований НЛО». Всего в мире насчитывается не менее 50 активных общественных организаций по изучению НЛО: они есть во многих странах Европы, в Китае, Индии и др.



В нашей стране всплеск интереса к НЛО вызвал «петрозаводский феномен» — красочное атмосферное явление, наблюдавшееся на северо-западе России 20 сентября 1977 г. После этого одна за другой стали создаваться общественные организации уфологов. В 1984 г. любители уфологии объединились в Комиссию по аномальным явлениям (КАЯ) при Комитете по проблемам охраны окружающей природной среды Всесоюзного совета научно-технических обществ (ВСНТО). Возглавлял КАЯ большой энтузиаст поиска внеземных цивилизаций и изучения НЛО, радиоастроном из Нижнего Новгорода Всеволод Сергеевич Троицкий, член-корреспондент Российской академии наук. В конце 1980-х гг. состоялось несколько всесоюзных школ и семинаров по различным междисциплинарным проблемам, среди которых была и проблема НЛО.

Большой интерес к НЛО наблюдается и во Франции, где действует единственная в мире государственная «служба НЛО». В 1977 г. при Национальном центре космических исследований в Тулузе была организована небольшая Группа по изучению неопознанных аэрокосмических явлений. Позже её преобразовали в Службу экспертизы атмосферных явлений (СЕПРА). Её сотрудники собирают и анализируют сведения об НЛО, поступающие в основном из государственных источников: ВВС,

гражданской авиации и прежде всего жандармерии, которой с 1974 г. поручено сообщать обо всех проявлениях НЛО. В 75—80 % случаев, о которых информирует жандармерия, эксперты СЕПРА отождествляют наблюдаемые феномены с известными явлениями. Когда это сделать не удаётся, они проводят дополнительное изучение, иногда выезжая на место наблюдения.

ЧТО ПРИНИМАЮТ ЗА НЛО?

Перечислим основные явления, которые вызывают сообщения об НЛО. Их можно разделить на три класса: астрономические, атмосферные и техногенные.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ. Луна и Венера нередко бывают «виновницами» сообщений об НЛО. Конечно, в ясную ночь трудно с чем-нибудь спутать висящую высоко в небе Луну, но бывают обстоятельства, затрудняющие её отождествление.

Очень часто это облачность, которая скрывает звёзды, но обычно не может полностью затмить Луну. Особенно сильный «эффект НЛО» возникает, когда облака бегут по небу: появляется иллюзия, что Луна движется в противоположную сторону, внезапно пропадая и появляясь в разрывах между плотными тучами.

Венера на вечернем небе бывает столь яркой, что её часто принимают за НЛО.



Набегающие на Луну облака иногда создают иллюзию «летающего сквозь облака объекта».





К тому же её до неузнаваемости искажают полупрозрачные облака.

При быстрой езде ночью у человека создаётся впечатление, что этот светящийся объект его преследует. Особенно сильный эффект возникает, когда он видит не саму Луну, а блик от неё в окне автомобиля, поезда или самолёта: его форма часто бывает причудливой, а движение — очень странным, потому что оно реагирует на малейшие изменения курса.

Луна и днём бывает неплохо видна, но многие об этом не подозревают. Случайно увидев «ночное светило» в дневное время, некоторые люди теряются и не узнают Луну.

У горизонта Луна, как известно, кажется намного больше, чем тогда, когда она высоко в небе. Здесь физиологическая особенность зрения вводит людей в заблуждение. В результате всех описанных выше эффектов Луну нередко принимают за НЛО.

Многое из сказанного о Луне относится и к Венере, которую тоже часто принимают за НЛО. Как правило, это происходит в период вечерней видимости Венеры. Не все знают, что «утренняя звезда» — Венера — бывает очень яркой и по вечерам. В средних широтах она особенно хорошо видна весной, когда сумерки наступают сравнительно рано и Венера долго остаётся над горизонтом после захода Солнца. Ближе к экватору её видимость практически не зависит от времени года.

АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. Существует два типа физических объектов, безусловно «замешанных» в историях с НЛО: это облака и метеоры. В горных районах часто встречаются облака очень правильной линзообразной формы. Иногда это одно облако на совершенно ясном небе, но могут быть и цепочки-«эскадрильи» из облаков. Они вызывают удивление не только в наше время: на картинах старых мастеров на таких облаках изображались святые. Теперь их место заняли пилоты НЛО.

Яркие метеоры и болиды также издавна вызывают удивление и становятся источниками мифов и легенд. Болид бывает виден даже днём, причём после того, как он пролетит, ещё долго можно наблюдать дымный шлейф. Случается, что полёт космического «гостя» не заканчивается на Земле — он может вылететь обратно в космос, как это было 10 августа 1972 г. над штатом Вайоминг (США). Некоторые материалы «внеземного происхождения», которые иногда обнаруживают, также оказываются связанными с падением метеоритов.



◀ На обычной астрофотографии появилось вдруг изображение странного «аппарата» (вверху кадра). Позже выяснилось, что линзы телескопа построили такое изображение яркой звезды, находившейся вне поля зрения.

Кумулятивные облака нередко принимают формы, напоминающие описанные уфологами НЛО.



ТЕХНОГЕННЫЕ ЯВЛЕНИЯ. Это самолёты и вертолёты, аэростаты и ракеты, спутники и активные эксперименты в атмосфере и космосе.

Мало кому известно, что во многих странах регулярно запускают аэростаты, в основном для изучения атмосферы. Сотни запусков в день происходят на всей планете. В большинстве своём это неуправляемые воздушные шары, и ветер может перенести их практически в любую точку Земли. Так, в 1970 г. был зафиксирован рекорд продолжительности полёта аэростата: находясь в воздухе четыре с лишним года, аппарат совершил более 100 кругосветных путешествий на высоте почти 35 км.

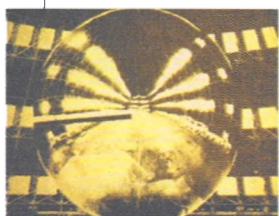
Аэростаты имеют различный диаметр (от 3–4 до 100 м) и разную форму: во Франции, например, часто запускают простые в изготовлении аэростаты с оболочкой в форме тетраэдра, т. е. правильной четырёхгранной пирамиды. Иногда используются цилиндрические оболочки или связки из нескольких десятков небольших шаров. Появление в воздухе подобного сооружения может вызвать самую неожиданную реакцию у неподготовленных зрителей. Особенно впечатляюще выглядят аэростаты в сумерках: ярко освещённые солнцем на фоне потемневшего неба, они видны за сотни километ-

ров. Недавно были спроектированы аппараты легче воздуха с твёрдой линзообразной оболочкой. По внешнему виду их невозможно отличить от классической летающей тарелки. И всё же подобные аппараты редкой формы наблюдают немногие, а вот запуски ракет видны на расстоянии 1000 и более километров.

К атмосферным явлениям, приводящим к необычным эффектам, можно отнести и оптические миражи, когда преломление света в наземных слоях воздуха создаёт изображения далёких источников, как бы висящих в воздухе у горизонта.

Об уровне компетентности очевидцев появления НЛО легко судить в случае массового наблюдения таких явлений, которые происходят в связи с космическими запусками или экспериментами в атмосфере. Десятки сообщений приходили каждый раз после экспериментов в атмосфере 17 июля, 19 сентября и 18 октября 1967 г. на ракетном полигоне Капустин Яр в районе Волгограда. При этом ошибки разных людей в определении времени достигали 1 ч, а в направлении — 1/4 окружности (вместо востока, например, указывался север). При описании «петрозаводского феномена» подобные ошибки привели, в частности, к тому, что создалось впечатление о множестве объектов,

Американский спутник «Эхо» — огромный отражающий шар, хорошо видимый с Земли.



ГОРОЖАНЕ И ТАРЕЛКИ

30 июля 1989 г. газета «Социалистическая индустрия» сообщила, что в московском районе Орехово-Борисово обнаружены следы посадки НЛО. На обочине Каширского шоссе появилась странная окружность 5–6 м в диаметре; трава внутри неё была пожухлая, примятая, а края опалены. С наружной стороны круга недалеко от его края симметрично располагались четыре небольшие ямки. Опрос местных старушек и визит в ближайшую пожарную часть быстро прояснили ситуацию: на полянке стоял стог

сена; он загорелся, был потушен, а остатки его увезли.

Подобные «следы НЛО» часто находят на лугах или лесных полянах — там, где обычно косят траву и складывают её в стога. Когда стог увозят, то на этом месте долго ещё виден характерный круг пожухлой травы. Если же стог случайно сгорает, то поверхность земли внутри круга бывает опалена. А три-четыре углубления по периметру — это следы от жердей, которыми прижимают сено. Характерно, что сообщения о подобных находках, поступают, как правило, от городских жителей.



рассеянных на большой территории. Если удастся восстановить точную картину происшествия, специалисты во многих случаях без труда его разгадают.

НЕРАЗГАДАННЫЕ НЛО

И всё же некоторые сообщения до сих пор не поддаются «расшифровке». Эти «классические» случаи обычно пересказываются в большинстве книг об НЛО. Вот пример из книги Ж. К. Риб и Г. Моне «Внеземная жизнь», где прокомментировано несколько случаев из отчёта Кондона: «Реактивный самолёт РБ-47 американских ВВС, снабжённый системой РЭП (радиоэлектронного подавления. — *Прим. ред.*), с экипажем из шести офицеров летел ночью 17 июля 1957 г. в сопровождении НЛО на протяжении полутора часов, пройдя за это время 1300 км по маршруту от штата Миссисипи до штата Оклахома, минуя штаты Луизиана и Техас. В разные моменты находившиеся в кабине члены экипажа видели объект как яркий источник света. Он фиксировался наземными радиолокационными станциями и РЭП на борту РБ-47. Этот случай особенно интере-

сен тем, что мгновенное появление и исчезновение объекта наблюдалось тремя физически различными методами: визуально, радаром и РЭП. Интересно также, что манёвры объекта выполнялись с такой скоростью, которая выходила далеко за пределы того, с чем когда-либо приходилось встречаться экипажу».

Ещё одно описание из той же книги, вновь со ссылкой на отчёт Кондона. Случилось это в ночь с 13 на 14 августа 1956 г. в Лейкенхите (Англия): «По меньшей мере один НЛО был зафиксирован контрольными диспетчерскими локаторами двух станций англо-американских ПВО. Одновременно его наблюдали и визуально. Это был круглый белый объект, который быстро перемещался и внезапно менял направление движения. Предпринята попытка перехвата его истребителем ВВС. Контрольный радиолокатор вывел самолёт на НЛО, и пилот сообщил, что цель на его бортовом радаре видна и он готов открыть огонь. НЛО, описав петлю, пристроился за самолётом и „сидел на хвосте“, несмотря на все попытки пилота оторваться. Инцидент закончился тем, что истребитель вернулся на базу из-за нехватки горючего. Погода была ясная, с хорошей видимостью».

Удовлетворительного объяснения эти и им подобные случаи не получили. Их описания страдают многими недостатками, затрудняющими отождествление: не приведены угловые размеры и координаты, точное время, атмосферные условия и т. д.

ВСТРЕЧИ С ПИЛОТАМИ НЛО

Последнее, о чём надо упомянуть, — это сообщения о встречах с пришельцами. Уфологи коллекционируют такие сведения и классифицируют их: контакт первого рода — увидел; второго рода — вступил в диалог и т. д. По внешнему виду пилоты НЛО также

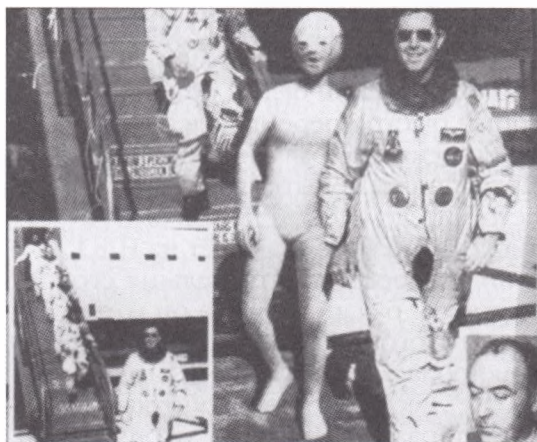
Частые в наше время запуски исследовательских зондов приводят к появлению в небе весьма необычных объектов.



► Президент США Джордж Буш с инопланетянином. Фальшивка американской газеты Weekly World News.

Как создаются фотографии с «пришельцами». На врезке показан оригинал фотографии, изображающей американских астронавтов. Потом в неё впечатали изображение изображении «пришельца».

►



разделены на типы: карлики, гиганты, зелёные, серебристые... Но для человека непредубеждённого в этих сообщениях важно одно — можно ли им доверять? Длинные рассказы о встречах и совместных путешествиях с пришельцами на летающих тарелках, опубликованные большими тиражами, часто связаны с коммерческими интересами их авторов. Они являются своего рода жанром фантастики.

Однако нередко и другие сообщения — от людей, явно не заинтересованных в продаже сенсационных измышлений. Они искренне уверены в том, что наблюдали незнакомых существ и даже общались с ними. Здесь уже мы соприкасаемся с малоисследованными глубинами человеческой психики. Но эта тема скорее относится к медицине и психологии, чем к астрономии.

Можно сделать вывод, что иногда редкие природные (а в последнее время и технические) феномены не отождествляются большинством людей с известными им явлениями и

БИЗНЕС И ЛЕТАЮЩИЕ ТАРЕЛКИ

Небольшой американский город Росуэлл (49 тыс. жителей) в силу стечения обстоятельств стал своего рода находкой для индустрии развлечений. Сообщения о падениях странных аппаратов в окрестностях города и о находках останков человекоподобных существ весьма эффективно используются предприимчивыми дельцами. В городе три музея. Регулярно проводятся фестивали НЛО, привлекающие сюда ежегодно более 90 тыс. туристов. Продаются всевозможные сувениры: куклы, изображающие «пришельцев» (30 долларов за штуку), кружки, майки, шляпы (20—50 долларов) и т. д. Можно купить щепотку земли с места падения аппарата. Дешевле — сфотографироваться с «маленьким пришельцем из другого мира» (2,5 доллара) или купить значок с единственным словом «Верю»

(2 доллара). Ежегодный доход города от этой деятельности составляет более 5 млн долларов.

Настоящей золотоносной жилой стал Росуэлл для литературного и кинобизнеса. Лента киностудии «XX век Фокс» «День независимости», базирующаяся на росуэллских происшествиях, принесла за первые две недели проката 160 млн долларов.

В 1970-х гг., после разоблачения неблаговидной деятельности некоторых высших федеральных чиновников, родилась легенда о правительственном заговоре с целью любыми средствами скрыть следы посещения Земли инопланетянами; эта легенда эксплуатируется до сих пор, способствуя повышению скандального интереса к «пришельцам».

Российский журналист Н. Зубков, побывавший в Росуэлле, пришёл к выводу: «...борьба с индустрией, приносящей миллиарды долларов ежегодно, безнадежна».



потому вызывают особый интерес и принимаются за НЛО. В каждый исторический период представления об НЛО соответствуют уровню общественного сознания. В Средние века их считали небесными знамениями, а в наше время принимают за космические корабли инопланетян.

К сожалению, уфология в её нынешнем виде редко занимается непредвзятым поиском истины. Чаще люди ищут в уфологии причастности к чему-то таинственному или к «большой науке», не желая при этом напряжённо изучать её основы.

Интерес же ко всему необычному, в том числе и к летающим тарелкам, — это нормальное проявление человеческой любознательности. Кроме того, серьёзный анализ содержания сообщений об НЛО может быть полезен как для расширения кругозора любителей науки, так и для выявления действительно новых и необычных природных феноменов. Многие любители астрономии, имеющие опыт самостоятельных наблюдений и знакомые с разнообразными небесными явлениями, интересуются анализом сообщений об НЛО.

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Нет ничего более волнующего, чем поиски жизни и разума во Вселенной. Уникальность земной биосферы и человеческого интеллекта бросает вызов нашей вере в единство природы. Человек не успокоится, пока не разгадает загадку своего происхождения. На этом пути необходимо пройти три важные ступени: узнать тайну рождения Вселенной, решить проблему происхождения жизни и понять природу разума.

Изучением Вселенной, её происхождения и эволюции занимаются астрономы и физики. Исследованием живых существ и разума заняты биологи и психологи. А происхождение жизни интересует всех: астрономов, физиков, биологов, химиков. К сожалению, нам знакома только одна форма жизни — белковая — и только одно место во Вселенной, где эта жизнь существует, — планета Земля. А уникальные явления, как известно, с трудом поддаются научному исследованию. Вот если бы удалось обнаружить другие населённые планеты, тогда загадка жизни была бы решена гораздо быстрее. А если бы на этих планетах нашлись разумные существа...

Дух захватывает, стоит только представить себе первый диалог с братьями по разуму.

Но каковы реальные перспективы такой встречи? Где в космосе можно найти подходящие для жизни места? Может ли жизнь зарождаться в межзвёздном пространстве, или для этого необходима поверхность планет? Как связаться с другими разумными существами? Вопросов много...

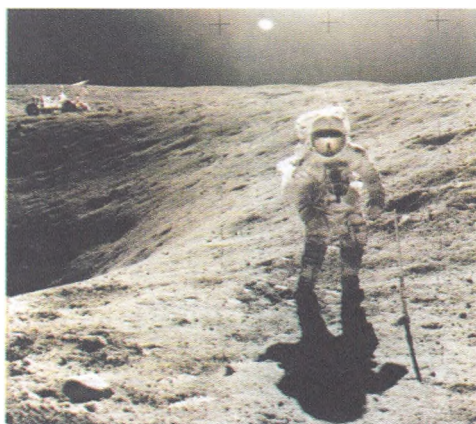
ПОИСКИ ЖИЗНИ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

Луна — единственное небесное тело, где смогли побывать земляне, и грунт которого подробно исследован в лаборатории. Никаких следов органической жизни на Луне не найдено.

Дело в том, что у Луны нет атмосферы: её слабое поле тяготения не может удерживать газ вблизи поверхности. По этой же причине на Луне нет океанов — они бы испарились. Не прикрытая атмосферой поверхность Луны днём нагревается до 130°C , а ночью остывает до -170°C . К тому же на лунную поверхность беспре-



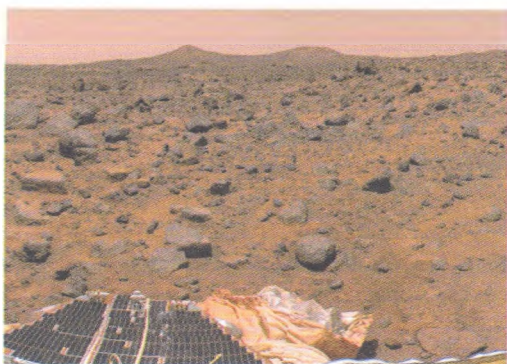
Астронавты
на безжизненной
поверхности
Луны.



пятственно проникают губительные для жизни ультрафиолетовые и рентгеновские лучи Солнца, от которых Землю защищает атмосфера. В общем, на поверхности Луны для жизни условий нет. Правда, под верхним слоем грунта, уже на глубине 1 м, колебания температуры почти не ощущаются: там постоянно около -40°C . Но в таких условиях жизнь вряд ли может зародиться.

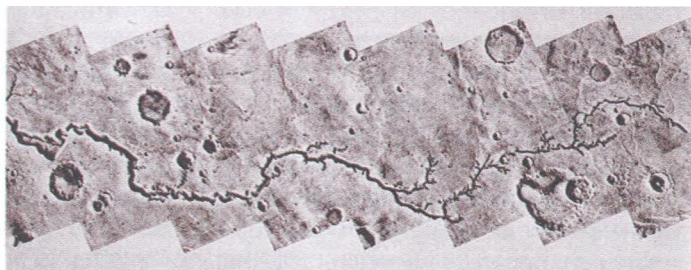
На ближайшей к Солнцу маленькой планете **Меркурий** ещё не побывали ни космонавты, ни автоматические станции. Но люди кое-что знают о ней благодаря исследованиям с Земли и с пролетающих вблизи Меркурия автоматических зондов. Условия там ещё хуже, чем на Луне. Атмосферы нет, а температура поверхности меняется от -170 до 450°C . Под грунтом температура в среднем составляет около 80°C .

Марсианская
пустыня. Съёмка
космического
аппарата
«Пасфайндер»
с поверхности
Марса.
На переднем
плane часть
солнечной
батареи.



Венеру в недавнем прошлом астрономы считали почти точной копией молодой Земли. Строились догадки, что скрывается под её облачным слоем: тёплые океаны, папоротники, динозавры? Увы, из-за близости к Солнцу Венера совсем не похожа на Землю: давление атмосферы у поверхности этой планеты в 90 раз больше земного, а температура и днём и ночью около 460°C . Хотя на Венеру опустилось несколько автоматических зондов, поиском жизни они не занимались: трудно представить себе жизнь в таких условиях. Над поверхностью Венеры уже не так жарко: на высоте 55 км давление и температура такие же, как на Земле. Но атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа, к тому же облака над ней состоят из серной кислоты. Словом, тоже не лучшее место для жизни.

Марс не без оснований считался пригодной для жизни планетой. Хотя климат там очень суровый (в районе экватора летним днём температура может подняться до 0°C , а ночью опуститься до -80°C , а зимой и до -120°C), но всё же это не безнадежно плохо для жизни: существует же низкая температура в Антарктиде и на вершинах Гималаев. Однако на Марсе есть ещё одна проблема — крайне разреженная атмосфера, примерно в 100 раз менее плотная, чем на Земле. Она не спасает поверхность Марса от губительных ультрафиолетовых лучей Солнца и не позволяет воде



Следы водных потоков на Марсе говорят о том, что климат планеты в прошлом был более пригоден для жизни.



находиться в жидком состоянии. На Марсе вода может существовать только в виде пара и льда. И вода действительно там есть, во всяком случае — в полярных шапках планеты и в виде вечной мерзлоты под поверхностью. Поэтому с большим нетерпением все ждали результатов поисков марсианской жизни, принятых сразу же после первой удачной посадки на Марс в 1976 г. автоматических станций «Викинг-1 и -2». Но они всех разочаровали: жизнь не была обнаружена. Правда, это был лишь первый эксперимент. Поиски продолжаются.

Планеты-гиганты. Климат Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна совершенно не соответствует нашим представлениям о комфорте: очень холодно, ужасный газовый состав атмосферы (водород, метан, аммиак, и т. д.), нет твёрдой поверхности — лишь плотная атмосфера и океан холодных жидких газов. Всё это очень не похоже на Землю. Однако в эпоху зарождения жизни и Земля была совсем не такой, как сейчас. Её атмосфера скорее напоминала венерианскую, разве что была теплее. Органические молекулы очень живучи. Поэтому в ближайшее время непременно будет осуществлён поиск органических соединений в атмосфере планет-гигантов.

Спутники планет и кометы. «Семейство» спутников, астероидов и ядер комет очень разнообразно по своему составу. В него, с одной стороны, входит огромный спутник Сатурна Титан с плотной азотной атмосферой, а с другой — мелкие ледяные глыбы кометных ядер, большую часть времени проводящие на далёкой периферии Солнечной системы. Серьёзной надежды обнаружить жизнь на этих телах не было никогда, хотя исследование на них органических соединений как предшественников жизни представляет особый интерес. В последнее время внимание экзобиологов (специалистов по внеземной

жизни; от *греч.* «экзо» — «снаружи», «вне») привлекает спутник Юпитера Европа. Под ледяной корой этого спутника должен быть океан жидкой воды. А где вода — там возможна и жизнь.

Итак, пока в Солнечной системе нигде, кроме Земли, жизнь не обнаружена. Учёные не питают на этот счёт больших надежд; скорее всего, Земля окажется единственной живой планетой. Но не исключено, что где-то удастся найти следы погибших биосфер. Например, климат Марса в прошлом был более мягким, чем сейчас. Жизнь там могла зародиться и продвинуться до определённой ступени. Есть подозрение, что среди попавших на Землю метеоритов некоторые являются древними осколками Марса; в одном из них обнаружены странные следы, возможно принадлежащие некогда жившим бактериям. Это ещё предварительные результаты, но даже они привлекают интерес к Марсу.



Метеорит Мерчисон. В нём обнаружены аминокислоты — основа белкового вещества.

УСЛОВИЯ ДЛЯ ЖИЗНИ В КОСМОСЕ

В космосе мы встречаем широчайший спектр физических условий: температура вещества меняется от 3—5 К до 10^7 — 10^8 К, а плотность — от 10^{-22} до 10^{18} кг/см³. Среди столь большого разнообразия нередко удаётся обнаружить места (например, межзвёздные облака), где один из физических параметров с точки зрения земной биологии благоприятствует развитию жизни. Но лишь на планетах могут совпасть все параметры, необходимые для жизни.

ПЛАНЕТЫ ВБЛИЗИ ЗВЁЗД. Планеты должны быть не меньше Марса, чтобы удержать у своей поверхности воздух и пары воды, но и не такими огромными, как Юпитер и Сатурн, чтобы атмосфера все же пропускала солнечные лучи к поверхности. Одним



словом, планеты типа Земли, Венеры, возможно, Нептуна и Урана при благоприятных обстоятельствах могли бы стать колыбелью жизни. А обстоятельства эти довольно очевидны: стабильное излучение звезды; определенное расстояние от планеты до светила, обеспечивающее комфортную для жизни температуру; круговая форма орбиты планеты, возможная лишь в окрестностях уединённой звезды (т. е. одиночной или принадлежащей к очень широкой двойной системе). Это главное. Часто ли в космосе встречается совокупность подобных условий?

Одиночных звёзд довольно много — около половины звёзд Галактики. Из них около 10 % сходны с Солнцем по температуре и светимости. Правда, далеко не все они так же спокойны, как наша звезда, но приблизительно

каждая десятая в этом отношении похожа на Солнце. Наблюдения последних лет показали, что планетные системы, вероятно, формируются у значительной части звёзд умеренной массы. Таким образом, Солнце с его планетной системой должно напоминать около 1 % звёзд Галактики, что не так уж мало — миллиарды звёзд.

ЗАРОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ НА ПЛАНЕТАХ. В 1950-х гг. американские биофизики Стэнли Миллер, Хуан Оро, Лесли Орел в лабораторных условиях имитировали первичную атмосферу планет (водород, метан, аммиак, сероводород, вода). Колбы с газовой смесью они освещали ультрафиолетовыми лучами и возбуждали искровыми разрядами, имитируя грозы. В результате из простейших веществ быстро сформировались важные соединения, например

ОРГАНИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ В КОСМОСЕ

Из распространённых космических объектов наиболее благоприятными для протобиологической (от греч. «протос» — «первый») эволюции вещества в наши дни представляются недра гигантских межзвёздных газопылевых облаков. На фотографиях звёздного неба они выглядят как тёмные провалы. Свет, а также рентгеновские и ультрафиолетовые лучи не проникают сквозь эти облака, а значит, не разрушают в их недрах сложные молекулы — предшественницы жизни. А они там есть, и довольно любопытные. Кроме простейших химических соединений, таких, как гидроксил, монооксид углерода, вода и аммиак, в межзвёздных облаках найдены довольно сложные органические молекулы: муравьиная кислота, этиловый спирт, ацетон и даже аминокислота глицин — один из «кирпичиков» белковых молекул.

Другой разновидностью многоатомных органических молекул, найденных в межзвёздной среде как нашей, так и других галактик, являются хорошо известные на Земле соединения — полиароматические углеводороды, объединяющие атомы углерода вместе с атомами водорода и некоторых других элементов в сложные молекулярные кольцообраз-

ные цепочки. Они были обнаружены по наблюдениям из космоса по характерным спектральным линиям в инфракрасном диапазоне спектра между 3 и 16 мкм.

Как же образуются столь сложные молекулы в очень холодных (с температурой ниже 100 К) и довольно разреженных (10^{-17} кг/м³) облаках?

Оказалось, всё дело в маленьких твёрдых частицах — пылинках, к поверхности которых прилипают атомы и простые молекулы, чтобы образовать затем более сложные соединения. Некоторые астрофизики считают, что наружный слой космических пылинок представляет собой протобиологический субстрат (от лат. *substratum* — «основа»), родственнейшим живым организмам. Во всяком случае, никто сейчас не сомневается, что для зарождения жизни нужна поверхность твёрдого тела или вода в жидком состоянии, а лучше всего — и то и другое.

Знаменитый английский астрофизик Фред Хойл написал фантастический роман «Чёрное облако» о живом и разумном межзвёздном облаке. Это было давно, когда ещё не были открыты сложные органические молекулы в космосе. И всё же фантазия учёного оказалась смелее действительности: в межзвёздной среде жизни нет, но её «кирпичики» могут зарождаться именно в ней.



12 из 20 аминокислот, образующих все белки земных организмов, и четыре из пяти оснований, образующих молекулы РНК и ДНК. Разумеется, это лишь элементарные «кирпичики», из которых по сложным правилам построены земные организмы. До сих пор непонятно, как эти правила были выработаны и закреплены природой в молекулах РНК и ДНК.

ЗОНЫ ЖИЗНИ. Биологи не видят иной основы для жизни, кроме органических молекул — биополимеров. Если для некоторых из них, например молекулы ДНК, важнейшей является последовательность звеньев-мономеров (кодирующая наследственную информацию), то для большинства других молекул — белков и в особенности ферментов — важнейшей является их пространственная форма, которая очень чувствительна к температуре. Стоит повыситься температуре, как белок денатурируется — теряет свою пространственную конфигурацию, а вместе с ней и биологические свойства. У земных организмов это происходит при температуре около 60 °C. При 100—120 °C разрушаются практически все земные формы жизни. К тому же универсальный растворитель — вода — при таких условиях превращается в атмосфере Земли в пар, а при температуре менее 0 °C — в лёд. Следовательно, можно считать, что благоприятный для возникновения жизни диапазон температур — 0—100 °C. Температура на поверхности планеты в основном зависит от светимости звезды и расстояния до неё. Астрофизик Су-Шу Хуанг исследовал эту проблему детально: он рассчитал, на каком расстоянии от звёзд разного типа могут находиться обитаемые планеты, если средняя температура на их поверхности лежит в пределах 0—100 °C. Ясно, что вокруг любой звезды существует определённая область — зона жизни, за границы которой орбиты

этих планет не должны выходить. У звёзд-карликов она близка к звезде и неширока. При случайном формировании планет вероятность, что какая-то из них попадёт именно в эту область, мала. У звёзд высокой светимости зона жизни находится далеко от звезды и очень обширна. Это хорошо, но продолжительность жизни этих звёзд так мала, что трудно ожидать появления на их планетах высокоразвитых организмов (земной биосфере для этого понадобилось более 3 млрд лет).

Поэтому для обитаемых планет наиболее подходят звёзды главной последовательности спектральных классов от F5 до K5. Годятся не любые из них, а лишь звёзды, богатые химическими элементами, необходимыми для биосинтеза, — углеродом, кислородом, азотом, серой, фосфором. Солнце как раз является такой звездой, а наша Земля движется в середине его зоны жизни. Венера и Марс находятся вблизи краёв этой зоны. В результате жизни на них нет.

Итак, можно надеяться, что по крайней мере у некоторой части солнцеподобных звёзд, обладающих планетной системой, найдётся хотя бы одна планета с условиями, пригодными для развития на ней жизни.

К сожалению, осталось мало шансов обнаружить активную биосферу в Солнечной системе и очень сложно искать её в других планетных системах. Но если где-то жизнь достигла разумной формы и создала техническую цивилизацию, подобную земной, то можно попытаться вступить с ней в контакт; для созданной людьми техники это уже реальная задача.

ПОИСК ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Как найти братьев по разуму? Стратегия поиска зависит от того, как люди представляют себе возможности и





желания этих самых братьев. Можно разделить такие представления на четыре популярных типа.

Они рядом с нами. Так думают те, кто считает НЛО космическими кораблями пришельцев, верит в техническую возможность межзвёздных перелётов, в регулярное появление инопланетян на Земле. К сожалению, научной базы для таких представлений пока нет.

Они здесь когда-то побывали. Некоторые любители истории считают, что в памятниках, литературных источниках и легендах сохранились указания на посещение Земли пришельцами. Они не исключают даже, что мы — их потомки. Это последнее утверждение с точки зрения био-

логии очень наивно: генетический код и молекулярный состав человека полностью идентичен другим существам, живущим на Земле. О древних памятниках и легендах однозначного мнения пока нет, однако в принципе люди в древности могли бы создать любое из этих творений.

Они осваивают космос. Здесь всё достаточно просто. Земляне сами уже осваивают космос и могут представить себе перспективы этого занятия. Главное заключается в том, что человечество потребляет всё больше энергии и всё больше рассеивает её в окружающее пространство в преобразованном виде. Например, уже более 100 лет Землю покидают радиоволны искусствен-

ФОРМУЛА ДРЕЙКА

Желая узнать, как часто встречаются в Галактике условия, пригодные для жизни, человек сталкивается сразу с несколькими астрономическими проблемами: как часто встречаются звёзды, подобные Солнцу, могут ли быть рядом с ними планеты с подходящим климатом и т. д. Вслед за ними встают биологические проблемы, связанные с происхождением жизни и разума. А если человека интересует возможность контакта с внеземными существами, то возникает ещё одна проблема: многие ли разумные существа способны создать технику для космической связи или межзвёздных перелётов. Решение этих задач или хотя бы прогноз их решения требует знаний в совершенно различных областях науки.

Чтобы объединить знания разных учёных при оценке числа разумных сообществ, готовых вступить в контакт с нашей цивилизацией, американский радиоастроном Фрэнк Дрейк предложил следующую формулу:

$$n = N \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot \frac{t}{T}$$

где n — число цивилизаций в Галактике, готовых к радиоконтакту, N — число звёзд в Галактике, P_1 — доля звёзд, имеющих планетные системы, P_2 — доля планетных систем, в которых возникла

жизнь, P_3 — доля биосфер, в которых жизнь достигла уровня разума, P_4 — доля разумных сообществ, достигших технического уровня нашей цивилизации (или более высокого) и желающих установить контакт, t — среднее время существования технической цивилизации, T — возраст Галактики. Отношение t/T — это доля готовых к контакту цивилизаций, существующих одновременно с нами в том случае, если они возникают в произвольный момент жизни Галактики; ведь на разных планетах эволюция может протекать с разной скоростью.

Очень интересно и полезно делать оценки для различных величин в формуле Дрейка. Пока есть полная ясность лишь для двух из них: возраст Галактики составляет около 10^{10} лет и в ней около 10^{11} звёзд. Можно рискнуть оценить распространённость планетных систем: $P_1 < 0,1$. На примере нашей цивилизации можно также заключить, что после создания техники космической связи (одновременно с которой появились ядерная бомба и баллистическая ракета) цивилизация способна сохраниться по крайней мере лет 100. Остальные величины пока трудно оценить. Весьма субъективно автор этой статьи оценивает их так: $P_2 \leq 1$, $P_3 \leq 0,1$, $P_4 < 1$ и $t < 1000$. Если подставить их в формулу Дрейка, то очевидно, что в лучшем случае всего несколько цивилизаций в Галактике сейчас готовы к контакту с нами или ищут его. Не очень оптимистичный, но и не безнадёжный прогноз.



ного происхождения. Последние 50 лет очень мощные сигналы наших телевизионных передатчиков и радаров без особого труда можно зарегистрировать с соседних звёзд. Это же касается и мощных лазерных импульсов, посылаемых в космос. В перспективе люди начнут строить крупные космические поселения, которые будут источниками инфракрасного (теплого) излучения с характерной температурой около 300 К.

По подобным признакам можно попытаться отыскать цивилизацию земного типа даже в том случае, если она не стремится сообщить о своём существовании. Если технический уровень цивилизации настолько высок, что она научилась использовать всю энергию своей звезды, например окружив её непрозрачной оболочкой (так называемая *сфера Дайсона*), то вместо звезды мы увидим очень мощный инфракрасный источник. Специальный поиск действительно позволил найти такие источники, но пока все они оказывались формирующимися звёздами, окружёнными пылевыми оболочками.

Они хотят поговорить. Проще было бы обнаружить братьев по разуму, если бы они сами этого захотели. Мощный радиомаяк или лазерный «прожектор» можно заметить с очень большого расстояния. Такие поиски уже предпринимаются. Вопрос в том, какой способ сообщения они выберут.

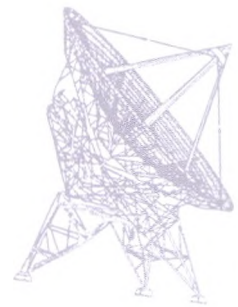
СВЯЗЬ С ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ

Для беспроводной связи на Земле в основном используют радио. Поэтому главные усилия сейчас направлены на поиски сигналов внеземных цивилизаций (ВЦ) в радиодиапазоне. Но ведутся они и в других диапазонах излучения. За последние

20 лет было проведено несколько экспериментов по поиску лазерных сигналов в оптическом диапазоне, но обнаружить их пока не удалось. Так что пока радиоволны считаются наиболее перспективным видом связи. Современная техника позволяет установить связь с братьями по разуму в любом уголке Галактики, если, конечно, знать, где они и в каком диапазоне волн собираются вести переговоры. А может быть, эти переговоры уже ведутся, и осталось лишь настроить приёмники, чтобы их услышать?

Итак, для поиска сигналов ВЦ помимо технических и финансовых проблем нужно было решить две принципиальные: в какую точку неба направить антенну и на какую частоту настроить приёмник.

Первая проблема решилась легко: антенны направили на ближайшие звёзды, похожие на Солнце, в надежде, что рядом с ними есть планеты, похожие на Землю. Вторая проблема оказалась сложнее. Когда человек ловит неизвестную радиостанцию домашним приёмником, то он просто «бродит» по всему диапазону волн. Если станция мощная, её отыскать легко, а если сигнал слаб, то нужно медленно переходить с волны на волну, внимательно вслушиваясь в шорох помех, — на это уходит много времени. Ожидаемый из космоса сигнал настолько слаб, что, просто вращая ручку настройки приёмника, его не найти. В первые годы поиска сигналов ВЦ учёные пытались угадать, на какой частоте можно ожидать передачу из космоса. Решили так: эту частоту должен знать любой радиоастроном в Галактике, значит, это должна быть линия излучения какого-нибудь космического вещества, лучше всего самого распространённого, т. е. водорода. Действительно, он слабо излучает на волне длиной 21 см. На эту волну и решили настроиться.





ОЗМА И СЕРЕНДИП

Наблюдения начались в 1960 г., когда Фрэнк Дрейк попытался с помощью антенны диаметром 26 м принять сигналы от звёзд τ Кита и ϵ Эрида-на. Его работа называлась «проект ОЗМА». Искусственные сигналы обнаружены не были, но работа Дрейка открыла эру поиска сигналов ВЦ. Сначала это занятие получило общее название CETI (Communication with ExtraTerrestrial Intelligents — «Связь с внеземными цивилизациями»). Позже его стали называть более осторожно — SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligents — «Поиск внеземных цивилизаций»), имея в виду, что, прежде чем удастся наладить связь, необходимо найти хоть какие-то следы деятельности разумных существ в космосе. За прошедшие годы в разных странах, в основном в США и СССР, было осуществлено более 60 экспериментов по поиску сигналов ВЦ, изучены тысячи звёзд на различных частотах. Но до сих пор сигналы разумных существ не обнаружены.

Стратегия поиска за это время заметно изменилась. Первые работы просто повторяли идею Дрейка в расширенном виде. Затем исследовали другие звёзды и на других частотах, но вскоре поняли, что надеяться на успех можно лишь в том случае, если удастся прослушать всё небо на всех частотах. В компьютерный век это оказалось возможно.

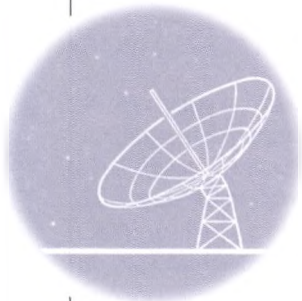
В 1992 г. Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США (НАСА) начало проект СЕРЕНДИП (SERENDIP, Search for Extraterrestrial Radio Emission from Nearby Developed Intelligent Populations — «Поиск внеземного радиоизлучения от соседних развитых цивилизаций»). Проект рассчитан на десять лет. В нём участвуют несколько обсерваторий разных стран. С помощью параболической антенны диаметром 34 м в Голдсто-

уне (штат Калифорния) проводится сплошной просмотр неба — полоса за полосой. При выявлении подозрительных сигналов их детальным изучением занимаются более крупные телескопы, такие, как антенна диаметром 64 м в Парксе (Австралия) или 300-метровая чаша в Аресибо на острове Пуэрто-Рико.

Работа ведётся параллельно с обычными научными наблюдениями. Иными словами, откуда бы ни получал радиотелескоп сигналы, СЕРЕНДИП постоянно анализирует их «на разумность»: вдруг попутно что-нибудь интересное обнаружит, совсем как в известной сказке.

Применена и новая стратегия поиска. Сначала радиотелескоп среднего размера быстро просматривает полосу неба, неоднократно сканируя её взад и вперёд. «Взгляд» антенны движется быстро, а компьютер сортирует полученные данные, отбирая среди зафиксированных источников несколько наиболее интересных. Затем с помощью той же антенны они изучаются более детально. Телескоп фиксирует «взгляд» на каждом из них, повышая тем самым свою чувствительность. Разумеется, большинство источников оказываются ложными: помехи от радаров, собственные шумы приёмника и т. п. Но некоторые источники заносятся в каталог для детального изучения с помощью самых крупных антенн.

Удивительная особенность проекта СЕРЕНДИП — его многоканальные приёмники: космическое пространство прослушивается не на одной частоте, а сразу на нескольких миллионах (!) частот, перекрывающих широкий диапазон радиоволн. В прежние годы поиск сигналов вёлся на одной фиксированной частоте, заранее выбранной исследователями. Такая стратегия напоминала охоту за рыбой с острогой в мутной воде. Охотник пытается угадать, где должна находиться рыба в данный момент,





и втыкает туда острогу. Много ли у него шансов на удачу? Радиоприёмники проекта СЕРЕНДИП в этом смысле похожи на мелкаячеистую сеть, которая широко захватывает и не пропускает ни одну рыбку, причём размер этого «невода» постоянно возрастает: на антенне в Аресибо работает приёмник на 4 млн каналов, а в процессе изготовления находится новый — уже на 167 млн каналов! Радиоастрономы вновь навели свои антенны на ближайшие звёзды: тысячу звёзд в окрестностях Солнца прослушивают теперь на миллионах различных частот.

Нужно заметить, что научные работы, не имеющие непосредственного практического приложения, в любой стране финансируются не очень щедро, а тем более такие полужанты, как поиск ВЦ. Проект СЕРЕНДИП в 1994 г. был остановлен: необходимые для продолжения работы 12 млн долларов американский сенат не выделил, мотивируя свой отказ тем, что «братья по разуму не помогут решить наши финансовые проблемы». Но нашлись энтузиасты, создавшие для поддержки уникального проекта общество «Друзья СЕРЕНДИП», которое возглавил знаменитый писатель-фантаст Артур Кларк (кстати, он до глубокой старости жил на острове Шри-Ланка, т. е. на том самом сказочном Серендипе). Сейчас космический поиск продолжается; уже замечены сотни необычных сигналов, которые будут изучаться более детально.

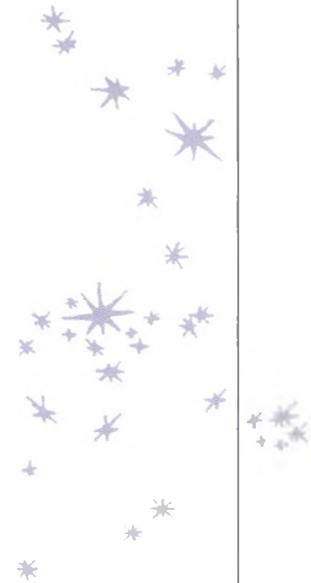
ЯЗЫК БРАТЬЕВ ПО РАЗУМУ

Попытки наладить радиоконтакт с братьями по разуму продолжают уже около 50 лет. И давно стало ясно, что главной проблемой будет не техника передачи и приёма сигналов, а язык и содержание сообщений. Очевидно, что выбор языка общения зависит от предварительной информации о собеседнике: чем меньше о

нём известно, тем более универсальным должен быть язык. Его выбор зависит и от формы контакта.

Как показал опыт общения различных цивилизаций Земли (например, европейцев и индейцев), даже здесь контакты бывают весьма сложными. А контакты с другими цивилизациями наверняка будут связаны с очень большими трудностями, а могут и вообще оказаться бесплодными. Ведь до сих пор не прочитаны некоторые тексты на мёртвых языках Земли — своеобразные послания из глубины веков. Ещё больших трудностей следует ожидать в том случае, если нам удастся случайно подслушать радиосообщения из иных миров, предназначенные для внутреннего пользования, например обрывки телепередач или позывные космических маяков. Но если кто-то отправляет в космос специальные позывные для поиска братьев по разуму, то он должен позаботиться о простоте языка, т. е. создать особый язык, понятный любому мыслящему существу. Учёные называют это принципом антикриптографии (от *греч.* «анти» — «против»; «криптос» — «тайный», «скрытый»; «графо» — «пишу»).

ИСКУССТВЕННЫЕ ЯЗЫКИ. Их история началась с попыток придумать универсальный язык для людей. Результат одной из таких попыток — язык эсперанто — и сейчас в ходу. Однако, так или иначе, основой этих языков были живые европейские языки. Ханс Фройденталь, профессор математики Утрехтского университета (Нидерланды), решил создать язык, понятный для существ, не имеющих с нами ничего общего, кроме разума. Дело происходило в те годы, когда все были взволнованы запуском первого спутника и первой попыткой Дрейка принять сигналы внеземных цивилизаций. Поэтому Фройденталь назвал свой язык *линкос* (от *лат.* *lingua cosmica* — «космический язык»).





Линкос прост и однозначен, он не содержит исключений из правил, синонимов и т. д. К тому же этот язык совершенно свободен от фонетического звучания. Слова этого языка никогда и никем во Вселенной произноситься не будут. Их можно закодировать в любой системе, например в двоичной, и передавать в космос по радио или другим способом.

Фройденталь разработал уроки линкоса, которыми должно начинаться первое послание. Первый урок содержит простые понятия математики и логики. Он начинается рядом натуральных чисел, которые передаются последовательностью импульсов (*, **, *** и т. д.). Затем вводятся знаки чисел и понятие «равняется»: * = 1, ** = 2. Каждый знак передается импульсом особой формы. После этого демонстрируются арифметические операции: $1 + 2 = 3$. Таким образом, неведомый корреспондент проходит курс математики и овладевает понятиями «больше», «меньше», «верно», «неверно», «возрастает», «убывает» и т. д.

КОСМИЧЕСКИЕ ПОСЛАНИЯ. За прошедшие десятилетия люди убедились, что рядом с Землей нет цивилизаций, передающих сообщения по радио. И земляне решили сами послать восточку неведомым космическим братьям. В 1970-х гг. к звездам были отправлены радиogramмы и автоматические зонды с посылками на борту. Каково же было их содержание?

Прежде всего предстояло решить вопрос, в какой форме послать сообщение: в форме текста или картинок,

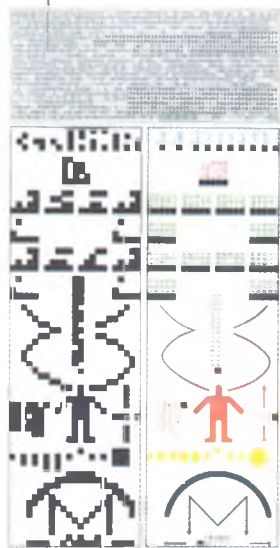
т. е. воспользоваться понятиями или образами. Использовать линкос пока не решились. Все послания, отправленные в космос по радио и на борту космических аппаратов, содержат образы — рисунки, слайды, звуки речи, музыку. Краткий текст состоит из нескольких чисел, необходимых для указания «обратного адреса» — положения нашей планеты в Галактике.

16 ноября 1974 г. из обсерватории Аресибо было отправлено сообщение в направлении шарового звездного скопления М 13 в созвездии Геркулеса. В нем около миллиона звезд, подобных Солнцу, поэтому вполне вероятно, что сообщение будет кем-то принято. Правда, сигнал доберется туда только через 25 тыс. лет. Сообщение послано на волне длиной 12,6 см и содержит 1679 знаков. Как надеются земляне, их инопланетные коллеги сообразят, что послание представляет собой кадр 23×73 .

Пока землянам неизвестны быстрые способы межзвездных путешествий; перелет даже к ближайшей звезде с помощью космической техники ближайшего будущего занял бы десятки тысяч лет. Для человека путь к звездам пока закрыт. Но автоматы уже устремились в межзвездное пространство: четыре зонда покинули пределы Солнечной системы — это «Пионер-10, -11», запущенные в 1972—1973 гг., и «Вояджер-1, -2», запущенные в 1977 г. Пролетев мимо внешних планет, они преодолели притяжение Солнца и теперь удаляются в глубины Галактики. Так почему бы не послать с ними восточки в другие миры? Есть шанс, что они когда-нибудь попадут в руки разумных существ. Поэтому каждый из зондов несет особое послание.

Внутри «Пионеров» заложены небольшие металлические пластинки, на которых выгравирована «визитная карточка» землян. На ней изображены люди на фоне силуэта космического аппарата (для того чтобы показать масштаб). Мужчина приветственно

◀ Радиопослание 1974 г. к шаровому скоплению М 13. В двоичном коде среди прочей информации: числа от 1 до 10; атомные номера некоторых элементов; двойная спираль ДНК; человек; численность населения Земли; Солнечная система; радиотелескоп в Аресибо.





поднял руку. Внизу показана схема Солнечной системы; линия, протянувшаяся от третьей планеты к маленькому силуэту «Пионера», показывает траекторию полёта. Вверху слева дважды изображён атом водорода. Кружок обозначает орбиту электрона, а палочка с точкой — направление спины (оси собственного вращения) электрона и протона. На правом рисунке спины частиц совпадают, а на левом они противоположны. Каждый физик (в том числе, наверное, и внеземной) знает, что при повороте спинов атом водорода излучает радиоимпульс с частотой 1420 МГц, т. е. с длиной волны 21 см. Эти длина и частота (мера времени) служат единицами всех других расстояний и времён, указанных на рисунке.

Самое важное сообщение зашифровано в «звёздочке» слева от центра. Это наш «обратный адрес»: в середине — Солнце, а протянувшиеся от него лучи указывают направления и расстояния до «радиомаяков» Галактики — пульсаров. Это нейтронные звёзды, быстро вращающиеся и излучающие радиоимпульсы с определённым периодом. У каждого пульсара свой период, который в двоичном коде записан вдоль луча. Всем развитым цивилизациям эти пульсары должны быть известны. А зная их координаты в Галактике, легко найти и положение Солнца. Самый длинный горизонтальный луч указывает направление и расстояние до центра Галактики — «столицы» нашей «звёздной империи».

На «Вояджерах» отправлены уже целые посылки: к борту каждого из

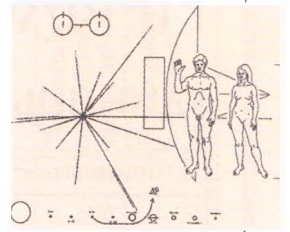
них прикрепили круглую алюминиевую коробку, положив туда позолоченный видеодиск. Инструкция по его воспроизведению (!) изображена на крышке коробки.

На диске 115 изображений (слайдов), на которых собраны важнейшие научные данные, виды Земли, её материков, различные ландшафты, сцены из жизни животных и человека, их анатомическое строение и биохимическая структура, включая молекулу ДНК.

Кроме изображений на диске записаны и звуки: шёпот матери и плач ребёнка, голоса птиц и зверей (например, «песни» китов), шум ветра и дождя, грохот вулканов и землетрясений, шуршание песка и океанский прибой. Есть даже звук поцелуя, который умело воспроизвели создатели видеодиска.

Человеческая речь представлена на диске короткими приветствиями на 58 языках народов мира. По-русски сказано: «Здравствуйте, приветствую вас!» Особую главу послания составляют достижения мировой музыкальной культуры. На диске записаны произведения Баха, Моцарта, Бетховена, джазовые композиции Луи Армстронга, Чака Берри и народная музыка многих стран.

Получат ли это послание братья по разуму, сейчас сказать трудно. Очень мала эта частичка Земли по сравнению с безбрежными космическими просторами. Но это лишь один из шагов, которые люди начали делать в поисках жизни и разума в космосе, и теперь они уже не остановятся, пока не найдут их.



Пластинка с космическим посланием, находящаяся на борту космического аппарата «Пионер-10», покинувшего Солнечную систему.



ПРИЛОЖЕНИЕ

ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Наименование	Обозначение	Значение
Длина		
метр	м	единица СИ
микрометр	мкм	$1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$
нанометр	нм	$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$
ангстрем	Å	$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$
астрономическая единица	а. е.	$1 \text{ а. е.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
световой год	—	$1 \text{ св. год} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$
парсек	пк	$1 \text{ ПК} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
килопарсек	кпк	$1 \text{ кпк} = 10^3 \text{ ПК}$
мегапарсек	Мпк	$1 \text{ Мпк} = 10^6 \text{ ПК}$
Температура		
кельвин	кпк	единица СИ
градус Цельсия	°C	Если T — температура в кельвинах, а t — в градусах Цельсия, то $t = T - 273,15$

Наименование	Обозначение	Значение
Масса		
килограмм	кг	единица СИ
масса Солнца	$M_{\odot}$	$1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Давление		
паскаль	Па	единица СИ
бар	—	$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$
Энергия		
джоуль	Дж	единица СИ
электронвольт	эВ	$1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
мегаэлектронвольт	МэВ	$1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$
Светимость (мощность излучения)		
ватт	Вт	единица СИ
Светимость Солнца	$L_{\odot}$	$3,88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Магнитная индукция		
тесла	Тл	единица СИ
гаусс	Гс	$1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Тл}$

СОЗВЕЗДИЯ

Русское название	Латинское название	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звёзд, доступных глазу
Андромеда	Andromeda	And	722	100
Близнецы	Gemini	Gem	514	70
Большая Медведица	Ursa Major	UMa	1280	125
Большой Пёс	Canis Major	CMa	380	80
Весы	Libra	Lib	538	50
Водолей	Aquarius	Aqr	980	90
Возничий	Auriga	Aur	657	90
Волк	Lupus	Lup	334	70
Волопас	Bootes	Boo	907	90

Русское название	Латинское название	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звёзд, доступных глазу
Волосы Вероники	Coma Berenices	Com	386	50
Ворон	Corvus	Crv	184	15
Геркулес	Hercules	Her	1225	140
Гидра	Hydra	Hyd	1300	130
Голубь	Columba	Col	207	40
Гончие Псы	Canes Venatici	CVn	465	30
Дева	Virgo	Vir	1290	95
Дельфин	Delphinus	Del	189	30
Дракон	Draco	Dra	1083	80
Единорог	Monoceros	Mon	482	85

Русское название	Латинское название	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звёзд, доступных глазу
Жертовник	Ara	Ara	237	30
Живописец	Pictor	Pic	247	30
Жираф	Camelopardalis	Cam	757	50
Журавль	Gru	Gru	366	30
Заяц	Lepus	Lep	290	40
Змееносец	Ophiuchus	Oph	948	100
Змея	Serpens	Ser	637	60
Золотая Рыба	Dorado	Dor	179	20
Индеец	Indus	Ind	294	20
Кассиопея	Cassiopeia	Cas	598	90
Кентавр (Центавр)	Centaurus	Cen	1060	150
Киль	Carina	Car	494	110
Кит	Cetus	Cet	1230	100
Козерог	Capricornus	Cap	414	50
Компас	Pyxis	Pyx	221	25
Корма	Puppis	Pup	673	140
Лебедь	Cygnus	Cyg	804	150
Лев	Leo	Leo	947	70
Летучая Рыба	Volans	Vol	141	20
Лиры	Lyra	Lyr	286	45
Лисичка	Vulpecula	Vul	268	45
Малая Медведица	Ursa Minor	UMi	256	20
Малый Конь	Equuleus	Equ	72	10
Малый Лев	Leo Minor	LMi	232	20
Малый Пёс	Canis Minor	CMi	183	20
Микроскоп	Microscopium	Mic	210	20
Муха	Musca	Mus	138	30
Насос	Antlia	Ant	239	20
Наугольник	Norma	Nor	165	20
Овен	Aries	Ari	441	50
Октянт	Octans	Oct	291	35
Орёл	Aquila	Aql	652	70
Орион	Orion	Ori	594	120
Павлин	Pavo	Pav	378	45
Паруса	Vela	Vel	500	110
Пегас	Pegasus	Peg	1121	100

Русское название	Латинское название	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звёзд, доступных глазу
Персей	Perseus	Per	615	90
Печь	Forax	For	398	35
Райская Птица	Arus	Ars	206	20
Рак	Cancer	Cnc	506	60
Резец	Caelum	Caе	125	10
Рыбы	Pisces	Psc	889	75
Рысь	Lynx	Lyn	545	60
Северная Корона	Corona Borealis	CrB	179	20
Секстант	Sextans	Sex	314	25
Сетка	Reticulum	Ret	114	15
Скорпион	Scorpius	Sco	497	100
Скульптор	Sculptor	Scl	475	30
Столовая Гора	Mensa	Men	153	15
Стрела	Sagitta	Sge	80	20
Стрелец	Sagittarius	Sgt	867	115
Телескоп	Telescopium	Tel	252	30
Телец	Taurus	Tau	797	125
Треугольник	Triangulum	Tri	132	15
Тукан	Tucana	Tuc	295	25
Феникс	Phoenix	Phe	469	40
Хамелеон	Chamaeleon	Cha	132	20
Цефей	Serpens	Ser	588	60
Циркуль	Circinus	Cir	93	20
Часы	Horologium	Hor	249	20
Чаша	Crater	Crт	282	20
Щит	Scutum	Scт	109	20
Эридан	Eridanus	Eri	1138	100
Южная Лида	Hydrus	Hyi	243	20
Южная Корона	Corona Australis	CrA	128	25
Южная Рыба	Piscis Austrinus	Psa	245	25
Южный Крест	Crux	Crx	68	30
Южный Треугольник	Triangulum Australe	TaA	110	20
Ящерица	Lacerta	Lac	201	35

СОБСТВЕННЫЕ ИМЕНА НЕКОТОРЫХ ЯРКИХ ЗВЁЗД

Алгениб	γ Peg	Бенетнаш	η UMa	Мира	σ Cet
Алголь	β Per	Бетельгейзе	α Ori	Мирах	β And
Алиот	ϵ UMa	Вега	α Lyr	Мицар	ζ UMa
Альбирео	β Cyg	Денеб	α Cyg	Плейона	28 Tau
Альдебаран	α Tau	Денебола	β Leo	Поллукс	β Gem
Алькор	80 UMa	Дубхе	α UMa	Полярная	α UMi
Альдерамин	α Ser	Гемма	α CrB	Процион	α CMi
Альгаир	α Aql	Канопус	α Car	Регул	α Leo
Альциона	η Tau	Капелла	α Aur	Ригель	β Ori
Антарес	α Sco	Кастор	α Gem	Сириус	α CMa
Арктур	α Boo	Майя	20 Tau	Спика	α Vir
Астеропа	21 Tau	Маркаб	α Peg	Тайгета	19 Tau
Атлас	27 Tau	Мерах	β UMa	Фомальгаут	α PsA
Беллатрикс	γ Ori	Меропа	23 Tau	Электра	17 Tau

НЕКОТОРЫЕ СПУТНИКИ ПЛАНЕТ*

Название	Кем открыт	Год	Блеск в звёздных величинах	Радиус орбиты, тыс. км	Период обращения, сут.	Наклонение орбиты в градусах**	Радиус (размеры), км	Масса, 10^{20} кг
Спутник Земли								
Луна	—	—	−12,7	384,4	27,32	18,3—28,6	1738	735
Спутники Марса								
Фобос	А. Холл	1877	11,3	9,38	0,319	1,0	14×10	$11 \cdot 10^{-5}$
Деймос	»	»	12,4	23,46	1,263	0,9—2,7	8×6	$18 \cdot 10^{-6}$
Спутники Юпитера								
Метида	С. Синнот	1979	17,5	127,96	0,295	(0)***	(20)	—
Адрастея	Д. Джоит и др.	»	18,7	128,98	0,298	(0)	12×8	—
Амальтея	Э. Барнард	1892	14,1	181,3	0,498	0,4	135×75	—
Теба	С. Синнот	1979	16,0	221,9	0,675	(0,8)	(50)	—
Ио	Г. Галилей, С. Марий	1610	5,0	421,6	1,769	0,04	1815	894
Европа	»	»	5,3	670,9	3,551	0,47	1569	480
Ганимед	»	»	4,6	1070	7,155	0,19	2631	1482,3

* Точное число спутников неизвестно. Почти ежегодно обнаруживаются новые небольшие спутники по данным, полученным с межпланетных аппаратов. Например, летом 1995 г. с помощью космического телескопа «Хаббл» были открыты четыре маленьких внутренних спутника Сатурна.

** Наклонение плоскости орбиты спутника к экваториальной плоскости планеты отражает и направление обращения спутника: если наклонение больше 90° , значит, спутник обращается в обратном направлении.

*** В скобках приведены ненадёжные значения.

Название	Кем открыт	Год	Блеск в звёздных величинах	Радиус орбиты, тыс. км	Период обращения, сут.	Наклонение орбиты в градусах	Радиус (размеры), км	Масса, 10^{20} кг
Каллисто	»	»	5,6	1883	16,689	0,28	2400	1076,6
Леда	Ч. Коуэл	1974	20,2	11094	238,72	27	(8)	—
Гималия	Ч. Перрайн	1904	15,0	11480	250,57	28	(90)	—
Лиситея	С. Николсон	1938	18,2	11720	259,22	29	(20)	—
Элара	Ч. Перрайн	1905	16,6	11737	259,65	28	(40)	—
Ананке	С. Николсон	1951	18,9	21200	631	147	(15)	—
Карме	»	1938	17,9	22600	692	163	(22)	—
Пасифе	П. Мелот	1908	16,9	23500	735	147	(35)	—
Синопе	С. Николсон	1914	18,0	23700	758	153	(20)	—
Спутники Сатурна								
Пан	М. Р. Шоултер	1990	—	133,6	—	—	—	—
Атлас	Р. Террил	1980	18,0	137,64	0,602	(0)	20 × 15	—
Прометей	С. Коллинз и др.	1980	15,8	139,35	0,613	(0)	70 × 40	—
Пандора	»	»	16,5	141,7	0,629	(0)	55 × 35	—
Эпиметий	Р. Уолкер	1966	15,7	151,42	0,694	0,34	70 × 50	—
Янус	О. Дольфюс	»	14,5	151,47	0,695	0,14	110 × 80	—
Мимас	У. Гершель	1789	12,9	185,52	0,942	1,53	195	0,38
Энцелад	»	»	11,7	238,02	1,37	0,02	250	0,84
Тефия	Дж. Кассини	1684	10,2	294,66	1,888	1,09	525	7,55
Телесто	Б. Смит и др.	1980	18,7	294,66	1,888	(0)	(12)	—
Калипсо	»	»	19,0	294,66	1,888	(0)	15 × 10	—
Диона	Дж. Кассини	1684	10,4	377,40	2,737	0,02	560	10,5
Елена	П. Лак и др.	1980	18,4	377,40	2,737	0,2	18 × 15	—
Рея	Дж. Кассини	1672	9,7	527,04	4,518	0,35	765	24,9
Титан	Х. Гюйгенс	1655	8,3	1221,85	15,945	0,33	2575	1350
Гиперион	Дж. Бонд, У. Бонд, У. Ласселл	1848	14,2	1481,0	21,277	0,43	175 × 100	—
Япет	Дж. Кассини	1671	10,2—11,9	3561,3	79,331	14,72	720	18,8
Феба	У. Пикеринг	1898	16,5	12952,0	550,48	175,3	110	—
Спутники Урана								
Корделия	«Вояджер-2»	1986	24	49,75	0,335	(0,14)	(15)	—
Офелия	»	»	24	53,76	0,376	(0,09)	(15)	—
Бианка	»	»	23	59,16	0,435	(0,16)	(20)	—
Крессида	»	»	22	61,77	0,464	(0,04)	(35)	—
Дездемона	»	»	22	62,66	0,474	(0,16)	(30)	—
Джультетта	»	»	22	64,36	0,493	(0,06)	(40)	—
Порция	»	»	21	66,10	0,513	(0,09)	(55)	—

Название	Кем открыт	Год	Блеск в звёздных величинах	Радиус орбиты, тыс. км	Период обращения, сут.	Наклонение орбиты в градусах	Радиус (размеры), км	Масса, 10^{20} кг
Розалинда	»	»	23	69,93	0,558	(0,28)	(30)	—
Белинда	»	»	22	75,26	0,624	(0,03)	(35)	—
Пэк	»	1985	20	86,01	0,762	(0,31)	75	—
Миранда	Дж. Койпер	1948	16,3	129,78	1,414	3,40	235	0,689
Ариэль	У. Ласселл	1851	14,2	191,24	2,52	0,00	580	12,6
Умбриэль	»	»	14,8	264,97	4,144	0,00	585	13,3
Титания	У. Гершель	1787	13,7	435,84	8,706	0,00	790	34,8
Оберон	»	»	13,9	582,60	13,463	0,00	760	30,3
Спутники Нептуна								
Наяда	«Вояджер-2»	1989	25	48,00	0,296	(0)	(25)	—
Таласса	»	»	24	50,00	0,312	(4,5)	(40)	—
Деспина	»	»	23	52,50	0,333	(0)	(90)	—
Галатей	»	»	22	62,00	0,429	(0)	(75)	—
Ларисса	»	»	22	73,60	0,554	(0)	(95)	—
Протей	»	»	20	117,60	1,121	(0)	(200)	—
Тритон	У. Ласселл	1846	13,5	354,80	5,877	157	1350	214
Нереида	Дж. Койпер	1949	18,7	5562,4	360,16	29	(170)	—
Наяда	«Вояджер-2»	1989	25	48,00	0,296	(0)	(25)	—
Таласса	»	»	24	50,00	0,312	(4,5)	(40)	—
Деспина	»	»	23	52,50	0,333	(0)	(90)	—
Галатей	»	»	22	62,00	0,429	(0)	(75)	—
Ларисса	»	»	22	73,60	0,554	(0)	(95)	—
Протей	»	»	20	117,60	1,121	(0)	(200)	—
Тритон	У. Ласселл	1846	13,5	354,80	5,877	157	1350	214

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Астрономический календарь. Постоянная часть. М.: Наука, 1981.
- Астрономический календарь. Нижний Новгород: Нижегородский кружок любителей физики и астрономии. Издаётся ежегодно.
- Астрономия: век XXI. Ред.-сост. Сурдин В. Г. Фрязино: Век 2, 2008.
- Астрономия и астрофизика. Серия под ред. В. Г. Сурдина. М.: Физматлит, 2008—2011.
- Атлас звёздного неба / Сост.: Д. Н. Пономарёв, К. И. Чурюмов. М.: Всесоюзное астрономо-геодезическое общество, 1991.
- Библиотека любителя астрономии. М.: Наука, 1979—1993.
- Дагаев М. М. Наблюдения звёздного неба. М.: Наука, 1988.
- Данлон С. Азбука звёздного неба/ Пер. с англ. М.: Мир, 1980.
- Зигель Ф. Ю. Сокровища звёздного неба. Путеводитель по созвездиям и Луне. М.: Наука, 1986.
- Ивлев О. А. Наблюдение звёздного неба в телескоп. М.: Космоинформ, 1994.
- Китчин К. Иллюстрированный словарь практической астрономии. М.: АСТ: Астрель, 2006.
- Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии. М.: КД Либроком, 2009.
- Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М.: Наука, 1984.
- Школьный астрономический календарь. М.: Просвещение. Издаётся ежегодно.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Адамс Уолтер Сидни (1876—1956), американский астроном 87, 295

Адамс Джон (1819—1892), английский астроном 442

Ангстрем Андерс Йонас (1814—1874), шведский физик и астроном, один из основоположников спектроскопии 66

Араго Доминик Франсуа (1786—1853), французский астроном, физик и политический деятель 51, 68

Арат (около 310—245 до н. э.), древнегреческий поэт и писатель 125, 128, 136

Аристарх Самосский (около 310—230 до н. э.), древнегреческий астроном 10, 388

Аристотель (384—322 до н. э.), древнегреческий философ 10, 154, 372

Бааде Вильгельм Генрих Вальтер (1893—1960), немецкий астроном; в 1931—1958 гг. работал в США 288, 299, 322

Байер Иоганн (1572—1625), немецкий астроном 122, 124, 125, 127—129, 131, 134, 135, 137, 138, 281

Барнард Эдуард Эмерсон (1857—1923), американский астроном 123, 465

Бейли Фрэнсис (1774—1844), английский астроном 157

Белопольский Аристарх Аполлонович (1854—1934), русский советский астроном 68, 407, 416

Бете Ханс Альбрехт (1906—2005), американский физик-теоретик 77

Бессель Фридрих Вильгельм (1784—1846), немецкий астроном и геодезист 294, 295

Бок Барт Ян (1906—1983), американский астроном 465

Бонд Джордж Филиппс (1825—1865), американский астроном, сын *У. К. Бонда* 69

Бонд Уильям Кранч (1789—1859), американский астроном 69

Браге Тихо (1546—1601), датский астроном 18—24, 126, 129, 434

Бруно Джордано (Филиппо; 1548—1600), итальянский философ 34, 35

Брюстер Дэвид (1781—1868), шотландский физик 65

Бунзен Роберт Вильгельм (1811—1899), немецкий химик 66, 187

Волластон Уильям Хайд (1766—1828), английский физик 65

Вольф Рудольф (1816—1893), швейцарский астроном 367

Воронцов-Вельяминов Борис Александрович (1904—1994), советский астроном 337

Галилей Галилео (1564—1642), итальянский физик, механик и астроном; один из основателей естествознания 32, 33, 35—38, 216—218, 349, 389, 408, 409, 415

Галлей Эдмунд (1656—1742), английский астроном и геофизик 52, 53, 127, 133, 435

Гамов Георгий Антонович (Джордж; 1904—1968), физик-теоретик, астрофизик; родился в Одессе, с 1934 г. жил и работал в США 96, 97, 214, 452

Ганский Алексей Павлович (1870—1908), русский астроном 362

Гаусс Карл Фридрих (1777—1855), немецкий математик, астроном и геодезист 428

Гевелий Ян (1611—1687), польский астроном 127, 128, 133, 135, 137, 138, 218

Герцшпрунг Эйнар (1873—1967), датский астроном; работал в Германии и Нидерландах 121, 274

Гершель Каролина Лукреция (1750—1848), английский астроном, сестра и помощница *У. Гершеля* 65, 221

Гершель Уильям (Фридрих Вильгельм; 1738—1822), англий-

ский астроном и оптик 59—65, 191, 220, 221, 318, 322, 334, 418

Гиппарх (II в. до н. э.), древнегреческий астроном 11, 110, 111, 133, 144, 146, 150

Гудрайк Джон (1764—1786), английский астроном, первый исследователь переменных звезд 133

Гумбольдт Александр фон (1769—1859), немецкий естествоиспытатель, географ и путешественник 442

Гюйгенс Христиан (1629—1695), нидерландский физик, механик, математик и астроном; в 1665—1681 гг. работал в Париже 49, 218, 219, 415, 416

Дагер Луи Жак Манде (1787—1851), французский изобретатель 68

Д'Аламбер Жан Лерон (1717—1783), французский философ-энциклопедист, математик, астроном 54

Декарт Рене (1596—1650), французский математик и философ 38

Деландр Анри (1853—1948), французский астроном 68

Деларю Варрен (1815—1889), английский астроном-любитель 69

Дельпорт Эжен Жозеф (1882—1955), бельгийский астроном 122

Джинс Джеймс Хопвуд (1877—1946), английский физик-теоретик, один из создателей теоретической астрофизики 88—93, 464

Дикке Роберт (родился в 1916 г.), американский физик 214

Донатти Джованни Баттиста (1826—1873), итальянский астроном 66, 67

Доплер Кристиан (1803—1853), австрийский физик и математик 67

Дрейк Фрэнсис, американский радиоастроном 504, 506

Дрэпер Генри (1837—1882), американский астроном 68, 69

Евдокс Книдский (около 408 — около 355 до н. э.), древнегреческий математик и астроном 10

Жансен Пьер Жюль Сезар (1824—1907), французский астроном 66, 360

Зеeman Питер (1865—1943), нидерландский физик 190

Иннес Роберт Торберн Эйтон (1861—1933), английский астроном 130

Кант Иммануил (1724—1804), немецкий философ и естествоиспытатель 54, 55, 173, 321, 389, 416

Каплан Самуил Аронович (родился в 1921 г.), советский астрофизик и астроном 297

Каптейн Якобус Корнелиус (1851—1922), нидерландский астроном 123

Кардашёв Николай Семёнович (родился в 1932 г.), советский астроном 210

Кассини Джованни Доменико (Жан Доминик; 1625—1712), астроном, родился в Италии, с 1669 г. работал в Париже; первый директор Парижской обсерватории 49, 50, 407, 409, 416

Кассини Жак (1677—1756), французский астроном, сын Дж. Д. Кассини 51

Кеплер Иоганн (1571—1630), немецкий астроном, один из основоположников современного естествознания 25—31

Кирхгоф Густав Роберт (1824—1887), немецкий физик 66, 187

Кларк Алван (1804—1887), американский оптик-шлифовальщик; основал вместе с сыновьями известную фирму, изготавливавшую объективы и телескопы 295

Клеро Алексис Клод (1713—1765), французский математик 53, 54

Колумб Христофор (1451—1506), генуэзский мореплаватель 155, 156

Коноваленко Александр Александрович (родился в 1951 г.), украинский радиоастроном 210

Коперник Николай (1473—1543), польский астроном, создатель гелиоцентрической системы мира, реформатор астрономии 11—17, 372

Кулик Леонид Александрович (1883—1942), минералог, энтузиаст метеоритных исследований в России 444

Лагранж Жозеф Луи (1736—1813), французский математик и механик 54

Лакайль Николя Луи де (1713—1762), французский астроном 128, 130, 133, 135—137

Ламберт Иоганн Генрих (1728—1777), немецкий астроном, математик, физик и философ 55

Ландау Лев Давидович (1908—1968), советский физик-теоретик 299

Лаплас Пьер Симон (1749—1827), французский астроном, математик, физик 56—59, 90, 389, 418

Ласселл Уильям (1799—1880), английский астроном 422

Леверье Урбен Жан Жозеф (1811—1877), французский астроном 422

Леметр Жорж (1894—1966), бельгийский астроном 96, 452

Ливитт Генриетта Суон (1868—1921), американский астроном 282

Лио Бернар (1897—1952), французский астроном 351

Ловелл Персиваль (1855—1916), американский астроном 402

Локьер Джозеф Норман (1836—1920), английский астроном 360

Ломоносов Михаил Васильевич (1711—1765), русский учёный-энциклопедист 48, 381

Максвелл Джеймс Клерк (1831—1879), английский физик, создатель классической электродинамики 53, 416

Марий Симон (1573—1624), немецкий астроном 334

Маундер Эдуард Уолтер (1851—1928), английский астроном 367

Монтанари Джеминиано (1633—1687), итальянский астроном 135

Ньютон Исаак (1643—1727), английский физик, астроном и математик; один из основателей современного естествознания 39—47, 185, 219, 220, 358, 434, 435, 463

Оорт Ян Хендрик (1900—1992), нидерландский астроном 484

Паллас Пётр Симон (1741—1811), русский естествоиспытатель 444

Паркер Юджин (родился в 1927 г.), американский астрофизик 365

Пензиас Арно Аллан (родился в 1933 г.), американский радиофизик и астрофизик 214, 215

Пиаци Джозеппе (1746—1826), итальянский астроном 428

Пикеринг Эдуард Чарлз (1846—1919), американский астроном 67

Пифагор Самосский (VI в. до н. э.), древнегреческий философ, религиозный и политический деятель 10

Погсон Норман Роберт (1829—1891), английский астроном 70, 111

Птолемей Клавдий (около 90 — около 160), древнегреческий учёный, сочинения которого оказали большое влияние на развитие астрономии, географии и оптики; автор «Мегале синтаксиса», или «Альмагеста» 11, 13, 120, 125, 126, 128, 138

Пуанкаре Жюль Анри (1854—1912), французский математик, физик и астроном 90

Рассел Генри Норрис (1877—1957), американский астроном 92, 121, 274

Ребер Гроут (1911—2002), американский радиоинженер, один из пионеров радиоастрономии 204

Региомонтан (Иоганн Мюллер); (1436—1476), немецкий астроном и математик 155

Ретик (Георг Иоахим фон Лаухен; 1514—1576), немецкий астроном и математик, ученик и последователь *Н. Коперника* 14, 16—18

Рёмер Оле (1644—1710), датский астроном, с 1671 по 1681 г. жил в Париже 50, 51, 409

Секки Анджело (1818—1878), итальянский астроном 66

Скиапарелли Джованни Вирджинио (1835—1910), итальянский астроном 402, 442

Слайфер Весто Мелвин (1875—1969), американский астроном 451

Струве Василий Яковлевич (1793—1864), русский астроном и геодезист; первый директор Пулковской обсерватории 70—74, 222, 303

Струве Отто Васильевич (1819—1905), русский астроном, второй директор Пулковской обсерватории, сын *В. Я. Струве* 284

ас-Суфи Абд ар-Рахман (умер в 986 г.), арабский астроном 333

Сэндидж Алан Рекс (родился в 1926 г.), американский астроном 102, 104

Трюмплер Роберт Джулиус (1886—1956), астроном; родился в Швейцарии, с 1915 г. работал в США 303

Уилсон (Вильсон) Роберт Вудроу (родился в 1936 г.), американский радиоастроном 214, 215

Фабрициус Давид (1564—1617), немецкий астроном 280, 349

Фабрициус Йоханнес (1587—около 1615), немецкий астроном, сын *Д. Фабрициуса* 349

Фалес Милетский (около 624—547 до н. э.), древнегреческий философ 145

Фаулер Ральф Говард (1889—1944), английский физик 296

Ферми Энрико (1901—1954), итальянский физик, один из создателей ядерной и нейтронной физики 296

Физо Арман Ипполит Луи (1819—1896), французский физик 67

Флемстид Джон (1646—1719), английский астроном, первый директор Гринвичской обсерватории 51, 52, 171, 123

Фраунгофер Йозеф (1787—1826), немецкий физик 222, 358

Фридман Александр Александрович (1888—1925), российский математик и геофизик 93—98, 451

Фуко Жан Бернар Леон (1819—1868), французский физик 223

Хаббл Эдвин Пауэлл (1889—1953), американский астроном 96, 98—104, 330—332, 334, 451

Хайнд Джон Расселл (1823—1895), английский астроном 128

Хёггинс Уильям (1824—1910), английский астроном 66, 67

Хладни Эрнст Флоренс Фридрих (1756—1827), немецкий физик; указал на космическое происхождение метеоритов 444

Холл Асаф (1829—1907), американский астроном, один из пионеров радиогеологии 400

Холмс Артур (1890—1965), английский геолог и петрограф

Хьюиш Энтони (родился в 1924 г.), английский радиоастроном 211

Хюлст Хендрик Кристофель ван де (родился в 1918 г.), нидерландский астроном 98, 209

Цвикки Фриц (1898—1974), швейцарский астроном; с 1925 г. работал в США 288, 299, 343

Цераский Витольд Карлович (1849—1925), русский советский астроном 146

Чандрасекар Субрахманьян (1910—1995), астрофизик, по происхождению индеец; с 1936 г. жил в США 84

Швабе Генрих (XIX в.), немецкий астроном-любитель 367

Шварцшильд Карл (1873—1916), немецкий астроном 77

Шейнер Христоф (1575—1650), немецкий астроном 349

Шепли Харлоу (1885—1972), американский астроном 92, 324, 331

Шкловский Иосиф Самуилович (1916—1985), советский астроном 98, 99, 209, 210

Шмидт Отто Юльевич (1891—1956), советский учёный, специалист в области математики, астрономии и геофизики, исследователь Арктики 478, 482

Эддингтон Артур Стэнли (1882—1944), английский астроном, физик 84—88, 91, 343

Эйлер Леонард (1707—1783), математик, механик, физик и астроном-теоретик; родился в Швейцарии, работал в Петербурге (с 1727 по 1741 г. и с 1766 г. до самой смерти) и Берлине (с 1741 по 1766 г.) 221

Эйнштейн Альберт (1879—1955), физик-теоретик, один из создателей современной физики 78—83, 94—96, 450

Эпик Эрнст Юлиус (1893—1985), эстонский астроном, с 1944 г. работал в зарубежных обсерваториях 77, 334

Эратосфен Киренский (около 276—194 до н. э.), древнегреческий астроном, географ 126, 134

Янский Карл (1905—1950), американский радиоинженер 203

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- астроблемы 442
 астрономический календарь 117
 азимут 114
 аккреционный диск 289
 аннигиляция 201
 апекс 235
 ассоциации звёзд *см.* звёзды
 астероиды 427—432, 483—484
 астрономическая единица 370
- балдж *см.* галактики
 бар *см.* галактики
 барстеры рентгеновские 289
 белые карлики *см.* звёзды
 блеск 70, 110—111, 267
 болометр 192
- вертикал светила 114
 взрывающиеся звёзды 287—294
 видимое излучение 183—191
 внеземные цивилизации *см.* жизнь во Вселенной
 Вольфа число 367
 время
 всемирное 175
 звёздное 168—171
 местное 174—177
 сезонное (зимнее, летнее) 176, 177
 поясное 176—177
 солнечное 168—171, 174
- Вселенная
 Большой взрыв 97
 возраст 452, 456, 458
 горячей Вселенной теория 97
 инфляционная стадия 461—462
 нестационарной Вселенной теория 94—97
 первичный нуклеосинтез 461
 радиационная стадия 459, 461
 рекомбинационная стадия 459, 460
 эволюция 54, 450—462
 всемирного тяготения закон 45
 высота светила 114
- Галактика 62—64, 314—328
 галактики
 балдж 323, 331
 бар 331
- взаимодействующие 337—340
 гало 322—323, 329, 341
 диск 323—324
 карликовые 331—333
 классификация (морфологические типы) 330—333
 линзовидные 331
 неправильные 331
 пересечённые (с баром) 331
 радиогалактики 211—213
 с активным ядром 336
 скопления 453—455
 спиральные 326, 330—331
 спиральные ветви (рукава) 326—327
 эллиптические 330
 эволюция 335—336
 ядро 324—326
- гамма-астрономия 200—203, 242—243
 гамма-всплески 202—203, 242, 294
 гамма-излучение 183—185, 200—203
 гелиопауза 373
 гелиосфера 364
 Герцшпрунга — Рассела диаграмма 274—275
 глобулы 465
 год
 звёздный 149
 тропический 150
 платонический 144
- горизонт 113
 гравитационные линзы 341—345
 гравитационный радиус 474
 грануляция *см.* Солнце
- Дайсона сфера 505
 Дрейка формула 504
 двойные и кратные звёзды 277—280
 джинсовская длина волны 90
 джинсовская масса 464
 дифракционное изображение звёзд 218
 Доплера эффект 67, 233
- жизнь во Вселенной 499—509
- затмения
 лунные 153—156
- солнечные 156—161
 звёздная величина 110—111, 267
 звёзды
 белые карлики 275, 294—297, 472—473
 ближайшие 314—317
 взрывающиеся *см.*
 взрывающиеся звёзды
 внутреннее строение 271—277, 353—356
 вырожденные 296; *см. также*
 белые карлики, нейтронные звёзды
 главной последовательности 273, 274—275, 276; *см. также* Солнце
 голубые гиганты 275
 двойные *см.* двойные и кратные звёзды
 диаграмма Герцшпрунга — Рассела *см.* Герцшпрунга — Рассела диаграмма
 источники энергии 264—265, 273—277, 354—355
 красные гиганты 274—276
 красные карлики 275
 невосходящие 138—139
 незаходящие 138
 нейтронные 297—300, 473—474; *см. также* пульсары
 новые 288—290; *см. также*
 переменные звёзды
 обозначения 122—123
 переменные *см.* переменные звёзды
 протозвёзды 468
 расстояния 267—268
 рентгеновские новые 289
 рождение 462—475
 сверхгиганты 270, 275
 сверхновые 290—294
 скопления и ассоциации 317—321, 470—471
 спектральные классы 269, 274—275
 физические характеристики 263, 267—271
 фундаментальные 233
 эволюция 264—265, 275, 302, 462—475
- Зеемана эффект 190
 зенит 113
 зенитное расстояние 114
 зодиакальный пояс 120

- зодиака знаки 132
 инфракрасная астрономия 191—194, 236—238
 инфракрасное (ИК) излучение 183—185, 191—194
- каталоги фундаментальные 233
 календарь 15, 178
 астрономический 117
 квазары 213—214, 337
 Кеплера законы 29—31
 Кирквуда люки 429—430
 Койпера пояс 373
 коллапс гравитационный 291—293, 464, 467
 кометы 52—53, 432—440, 483—484
 комптоновское рассеяние 201
 координаты небесные *см.*
 системы координат
 коричневые карлики 302, 486
 коронограф 351—352
 космические лучи солнечные 366
 космические обсерватории 236—244
 космогония 476—485
 космология 455—462
 красное смещение 452
 кульминация светила 148
- либрации Луны 38, 390
 лучевая скорость 67, 233
- магнитосфера 366, 410, 413—414
 межзвёздная среда 303—313, 463—470
 корональный газ 304
 магнитное поле 305
 межзвёздная пыль 309—313
 межзвёздные облака 304—305
 межзвёздный газ 303—309
 метеориты 441—442, 444—447
 метеоры 441—443
 мириды *см.* переменные звёзды
- надир 113
 небесная сфера 112
 небесный меридиан 113
 небесный экватор 113
 неопознанные летающие объекты (НЛО) 492—499
 нестационарной Вселенной теория *см.* Вселенная
- органические молекулы 502
 Оорта облако 373
 Оппенгеймера — Волкова предел 474
 ось мира 113
 относительности теория
 общая (ОТО) 82, 86
 специальная (СТО) 81—82
- парадокс близнецов 81
 параллакс 233
 параллактическое смещение 267
 парниковый эффект 365
 парсек 262
 переменные звёзды 281, 285; *см. также* взрывающиеся звёзды
 вспыхивающие 285
 затменные 284
 катаклизмические (взрывные) 283, 296
 любительские наблюдения 285—287
 пульсирующие 281; *см. также* типа Миры Кита, типа RR Лиры, цефеиды
 типа Миры Кита (мириды) 280—281
 типа RR Лиры 282—283
 типа R Северной Короны 284
 типа Т Тельца (орионовы переменные) 284
 типа U Близнецов (карликовые новые) 283
 физически переменные 284
 цефеиды 281—282
- ПЗС *см.* прибор с зарядовой связью
 планеты 162, 485
 вблизи других звёзд *см.*
 экзопланеты
 Солнечной системы *см.*
 планеты Солнечной системы
 планеты Солнечной системы 374—426
 верхние 163
 видимое движение 162—164
 гиганты 373
 земной группы 371
 карликовые 369—370
 космические экспедиции 244—257
 нижние 163
 спутники 370, 482—483
- полюс мира 113
 полярные сияния 368, 410, 414, 416
 прецессия земной оси 144—145
- прибор с зарядовой связью (ПЗС) 230
 приливы 57, 173
 противостояние 401
 протозвёзды *см.* звёзды
 протопланетное облако 476
 протуберанцы *см.* Солнце
 прямое восхождение 115
 пульсары 211, 279—280, 297—300
 рентгеновские 200
- равноденствия точки 115, 149
 радиант метеорного потока 442
 радиоастрономия 203—215
 радиогалактики 211—213
 радиоинтерферометры 207
 радиоизлучение 183—185, 208—215
 радиометр 205
 радиотелескопы 204—208
 синфазные антенны 206—207
- реголит 391
 рекомбинационные радиолнии 209—210
 реликтовое излучение 214—215, 457, 460
 рентгеновская астрономия 198—200, 240—242
 рентгеновское излучение 183—185, 198—200
 рефлектор *см.* телескопы
 рефрактор *см.* телескопы
- светимость 267
 серебристые облака 146—147
 синхротронное излучение 208—209
- системы координат 112—116
 галактическая 116
 горизонтальная 114
 экваториальная 115
 эклиптическая 115—116
- склонение 114
 скопления галактик *см.* галактики
 скопления и ассоциации звёзд *см.* звёзды
 скрытая масса 340—343, 458
 собственное движение 53, 233
 созвездия 120—138
 солнечная постоянная 365
 Солнечная система 369—374
 малые тела 370
 планеты *см.* планеты Солнечной системы
 происхождение 475—485

солнечный ветер 363—366

Солнце

активность 350—351, 358,

360, 367

атмосфера 357—364

видимое движение 148—151

вспышки 360

внутреннее строение 353—356

грануляция 349, 358

корона 361—364

космические лучи 366—368

источник энергии 353—355

конвективная зона 356

лучистого переноса зона 355—356

магнитное поле 358

протуберанцы 359

пятна 349—350, 358

спектр видимого излучения 357—356

спикулы 359

факелы 350, 359

фотосфера 349, 357—359

хромосфера 359—360

солнцестояния точки 150

спектр 186, 186

линейчатый (полосатый) 187

непрерывный 186

спектральный анализ 65—68, 185—191

спектральные линии 66, 186, 187, 189, 209—210, 358

испускания (эмиссионный) 187

поглощения 186, 187

фраунгоферов 358

спектральные классы звёзд *см.*

звёзды

спектрограф 189, 352—353

спикулы *см.* Солнце

спиральные ветви (рукава)

галактик *см.* галактики

сутки

звёздные 168—171

солнечные 168—171, 175

суточная параллель 115

сцинтилляционный счётчик 201

телескоп оптический 33, 34, 43, 216—232

оптические характеристики 230—232

приёмники излучения 192, 229—230

проницающая сила 231

разрешающая сила 231

рефлектор 220

рефрактор 220

светосила 232

солнечный 351—353

увеличение 231

фокусное расстояние 231

тёмная материя 329, 341—343, 452, 458

тёмная энергия 341—343, 453, 458

тепловое излучение 208

Тициуса — Боде правило 427

транснептуновые объекты 373

трековый детектор 201

туманности галактические 291—293, 303—313

отражательные 310

планетарные 64, 309

тёмные 310

эмиссионные 307

ультрафиолетовая астрономия 196—197, 239—240

ультрафиолетовое (УФ) излучение 183—185, 195—197

уфология *см.* жизнь во Вселенной

фазы Луны 151—153

факелы *см.* Солнце

фотометрический парадокс 53

фотосфера *см.* Солнце

фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) 229

фраунгоферовы линии *см.* спектр

Хаббла закон 451

Хаббла постоянная 102, 458

хаббловский радиус 456

хроматическая аберрация 218

целостат 351—352

цефеиды *см.* переменные звёзды

Чандрасекара предел 473

часовые пояса 176—177

часовой угол 114

часы

атомные 173

кварцевые 172—173

маятниковые 172

поправка 172

чёрные дыры 300—302, 474—475

эддингтоновский предел светимости 87

экзопланеты 486—491

эклиптика 149

электронно-оптический преобразователь (ЭОП) 229—230

эфемериды 116—117

ядро галактики *см.* галактики

СОДЕРЖАНИЕ

К читателю (<i>Мария Аксёнова</i>)	5
Вводная статья (<i>академик РАН Николай Кардашёв, Анатолий Засов, Владимир Сурдин, Валентин Цветков</i>)	6

ЧЕЛОВЕК ОТКРЫВАЕТ ВСЕЛЕННУЮ

МЕЖДУ ДРЕВНОСТЬЮ И НОВЫМ ВРЕМЕНЕМ

Заря астрономии (<i>Владимир Сурдин</i>)	10
Николай Коперник. «Остановивший Солнце, сдвинувший Землю» (<i>Сергей Житомирский</i>) ..	11
Тихо Браге. Создатель «Небесного замка» (<i>Сергей Житомирский, Ирина Розгачёва</i>)	18
Иоганн Кеплер. Законодатель неба (<i>Сергей Житомирский, Ирина Розгачёва</i>)	25
Галилео Галилей (<i>Ирина Розгачёва, Станислав Широков</i>)	32

Дополнительные очерки

Объяснение прецессии (*Сергей Житомирский*) — 14. Джордано Бруно (*Кирилл Привезенцев*) — 34.

НА ПУТИ К СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА

Исаак Ньютон (<i>Ирина Розгачёва, Станислав Широков</i>)	39
Восемнадцатый век и небесная механика (<i>Виталий Бронштэн, Станислав Широков</i>)	49
Пьер Симон Лаплас (<i>Ирина Розгачёва</i>)	56
Уильям Гершель (<i>Алина Еремеева</i>)	59
Девятнадцатый век и астрофизика (<i>Виталий Бронштэн</i>)	69
Василий Яковлевич Струве (<i>Александр Козенко</i>)	70

Дополнительные очерки

Звёздный час Михайло Ломоносова (*Станислав Широков*) — 48. Эдмунд Галлей (*Алина Еремеева*) — 52. Горбы приливов в океане (*Ирина Розгачёва*) — 57.

АСТРОНОМИЯ XX И XXI ВЕКОВ

Вступление (<i>Владимир Сурдин</i>)	75
Альберт Эйнштейн (<i>Александр Козенко</i>)	78
Артур Стэнли Эддингтон (<i>Александр Козенко</i>)	84
Джеймс Хопвуд Джинс (<i>Александр Козенко</i>)	88
Александр Александрович Фридман (<i>Алина Еремеева</i>)	93
Эдвин Пауэлл Хаббл (<i>Александр Козенко</i>)	98
Вступая в XXI век (<i>Владимир Сурдин</i>)	104

Дополнительные очерки

Разгадка тайны звёзд (*Виталий Бронштэн*) — 77. Парадокс близнецов (*Александр Козенко*) — 81. Харлоу Шепли (*Николай Самусь*) — 92. Георгий Антонович Гамов — 96. Альфа, бета, гамма... — 97. Иосиф Самуилович Шкловский (*Владимир Курт*) — 98. Вместо послесловия — 107.

ЗВЁЗДНОЕ НЕБО НАД НАМИ

НАЧАЛА НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ НАУКИ

Звёздные величины (<i>Владимир Сурдин</i>)	110
Адреса светил на небе (<i>Валентин Цветков</i>)	112
Расположение светил «на завтра» (<i>Валентин Цветков</i>)	116
Обитатели неба. Созвездия (<i>Владимир Сурдин</i>)	120

Звёздное небо разных широт (<i>Валентин Цветков</i>)	138
Звёздное небо четырёх сезонов в средних широтах Северного полушария (<i>Владимир Сурдин</i>)	140
Игра с волчком, или Длинная история с полярными звёздами (<i>Станислав Широков</i>)	144

Дополнительные очерки

Созвездия и знаки зодиака (*Владимир Сурдин*) — 132. Эти загадочные ночные облака (*Виталий Ромейко*) — 146.

ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА, ЛУНЫ И ПЛАНЕТ

Путь Солнца среди звёзд (<i>Константин Порцевский</i>)	148
Движение и фазы Луны (<i>Константин Порцевский</i>)	151
Лунные и солнечные затмения (<i>Станислав Широков</i>)	153
Сложные петли «блуждающих светил» (<i>Валентин Цветков</i>)	162

ВРЕМЯ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ

Что такое время? (<i>Станислав Широков</i>)	165
Звёздные и солнечные сутки (<i>Станислав Широков</i>)	168
В поисках надёжных часов (<i>Станислав Широков</i>)	171
Местное время (<i>Станислав Широков</i>)	174

Дополнительный очерк

Календарь — 178.

КАК АСТРОНОМЫ ИЗУЧАЮТ ВСЕЛЕННУЮ**РАДУГА ВСЕЛЕННОЙ**

Всеволновая астрономия (<i>Эдвард Кононович</i>)	182
Анализ видимого света (<i>Леонид Самсоненко, Сергей Яценко</i>)	185
Инфракрасная и ультрафиолетовая Вселенная (<i>Константин Постнов, Леонид Самсоненко</i>)	191
Рентгеновская и гамма-астрономия (<i>Константин Постнов, Леонид Самсоненко</i>)	198
Радиоастрономия (<i>Михаил Попов</i>)	203

Дополнительный очерк

Почти детективная история небулия и корония (*Леонид Самсоненко, Сергей Яценко*) — 188.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

Телескопы — от Галилея до наших дней (<i>Пётр Щеглов</i>)	216
Оптические характеристики телескопа (<i>Константин Куимов</i>)	230
Где находятся и куда движутся светила (<i>Константин Куимов</i>)	232
Космические обсерватории (<i>Анатолий Засов, Дмитрий Вибе</i>)	236
Космические экспедиции по Солнечной системе (<i>Жанна Родионова</i>)	244

ЗВЁЗДЫ И ГАЛАКТИКИ**ЗВЁЗДЫ: ГЛАВНЫЕ ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЛИЦА**

Что такое звезда (<i>Дмитрий Вибе</i>)	260
Снятие мерки со звёзд (<i>Олег Малков</i>)	267
Как устроена звезда и как она живёт (<i>Алла Масевич</i>)	271
Двойные и кратные звёзды (<i>Константин Постнов</i>)	277
Переменные звёзды (<i>Николай Самусь</i>)	280

Взрывающиеся звёзды (<i>Константин Постнов</i>)	287
Белые карлики, нейтронные звёзды и чёрные дыры (<i>Дмитрий Вибе</i>)	294

Дополнительные очерки

Диаграмма Гершпрунга — Рассела (*Анатолий Засов*) — 274. Космические гамма-всплески (*Константин Постнов*) — 294. «Недозвёзды» (*Дмитрий Вибе*) — 302.

СРЕДИ ЗВЁЗД

Межзвёздная среда (<i>Дмитрий Вибе</i>)	303
---	-----

МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ — НАША ЗВЁЗДНАЯ СИСТЕМА — ГАЛАКТИКА

Звёзды — соседи Солнца (<i>Анатолий Пискунов</i>)	314
Скопления и ассоциации звёзд (<i>Дмитрий Вибе</i>)	317
Галактика и место Солнца в ней (<i>Дмитрий Вибе</i>)	321

Дополнительный очерк

Галактические расстояния (*Владимир Сурдин*) — 324.

ЗВЁЗДНЫЕ ОСТРОВА

Многообразие галактик (<i>Дмитрий Бизяев, Сергей Попов</i>)	329
Взаимодействующие галактики (<i>Анатолий Засов</i>)	337
Что такое скрытая масса (<i>Константин Постнов</i>)	340
Гравитационные линзы (<i>Константин Постнов</i>)	343

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

ЗВЕЗДА ПО ИМЕНИ СОЛНЦЕ

Что видно на Солнце (<i>Ирина Миронова</i>)	348
Солнечные инструменты (<i>Александр Шукин</i>)	351
Внутреннее строение Солнца (<i>Ирина Миронова</i>)	353
Солнечная атмосфера (<i>Эдвард Кононович</i>)	357
Как Солнце влияет на Землю (<i>Анатолий Засов, Леонид Самсоненко, Сергей Яценко</i>)	364

Дополнительные очерки

Откуда берётся энергия Солнца? (*Ирина Миронова*) — 354. Циклы солнечной активности (*Леонид Самсоненко*) — 367.

ПЛАНЕТЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Что такое Солнечная система и как она устроена (<i>Оксана Абрамова</i>)	369
Меркурий: Во власти Солнца (<i>Оксана Абрамова</i>)	374
Венера: суровый мир под облачным покровом (<i>Оксана Абрамова</i>)	377
Планета Земля (<i>Александр Козенко</i>)	383
Луна: царящая в ночи (<i>Оксана Абрамова</i>)	388
Марс без марсиан (<i>Дмитрий Вибе</i>)	394
Юпитер: бог неба, царь планет (<i>Оксана Абрамова</i>)	403
Сатурн: властелин колея (<i>Оксана Абрамова</i>)	410
Уран: космический лежебока (<i>Оксана Абрамова</i>)	418
Нептун: пойманный в сети математики (<i>Оксана Абрамова</i>)	422

Дополнительные очерки

Первое описание Солнечной системы — 372. Новости Меркурия: хвост и лёд (*Оксана Абрамова*) — 375. Открытие венерианской атмосферы (*Оксана Абрамова*) — 381. Была ли на Венере вода? (*Оксана Абрамова*) — 382.

Происхождение Луны (Оксана Абрамова) — 389. Переменчивый марсианский климат (Дмитрий Вибе) — 399. Большое Красное Пятно и другие вихри (Оксана Абрамова) — 407. Семья Юпитера на службе науке (Оксана Абрамова) — 409. Феноменальный гексагон Сатурна (Оксана Абрамова) — 417. Как Уран «завалился» набок? (Оксана Абрамова) — 419.

МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Астероиды (Игорь Зоткин, Владимир Сурдин)	427
Кометы (Владимир Сурдин, Станислав Широков)	432
Метеоры и метеориты (Валентин Цветков)	441

Дополнительные очерки

Тунгусский метеорит (Валентин Цветков) — 444. Сихотэ-Алинский метеоритный дождь (Валентин Цветков) — 446.

ВСЕЛЕННАЯ В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ

ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Структура Вселенной (Дмитрий Бизяев, Сергей Попов)	450
Космология, или Что было, когда не существовало звёзд (Константин Постнов)	455
Рождение звёзд (Владимир Сурдин)	461
Конец жизненного пути звезды (Константин Постнов)	471
История Солнечной системы (Евгения Рускол)	475
Планеты есть не только у Солнца (Владимир Сурдин)	485
Неопознанные летающие объекты (НЛО) (Владимир Сурдин)	492
Жизнь во Вселенной (Владимир Сурдин)	499

Дополнительные очерки

Как измеряются красные смещения (Константин Постнов) — 452. Реактивные струи молодых звёзд (Владимир Сурдин) — 470. Как появились спутники планет (Евгения Рускол) — 482. Планеты, которых никто не ожидал (Анатолий Засов) — 491. Горожане и тарелки (Владимир Сурдин) — 496. Бизнес и летающие тарелки (Валентин Цветков) — 498. Органические молекулы в космосе (Владимир Сурдин) — 502. Формула Дрейка (Владимир Сурдин) — 504.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Единицы физических величин	510
Созвездия	510
Собственные имена некоторых ярких звёзд	512
Некоторые спутники планет	512
Рекомендуемая литература	514
Именной указатель	515
Предметный указатель	518

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ДЛЯ ДЕТЕЙ



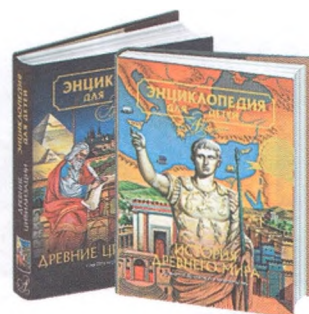
«Всемирная история»,
«История войн»



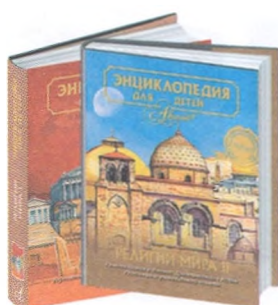
«История России»
(части 1, 2, 3)



«История XX века.
Зарубежные страны»



«Древние цивилизации»,
«История Древнего мира»



«Религии мира»
(части 1, 2)



«Культуры
мира»



«Экономика
и политика»



«Бизнес»



«Компьютер»



«Искусство» (части 1, 2, 3)



«Человечество.
XXI век»



«Всемирная литература»
(части 1, 2)



«Русская литература»
(части 1, 2)



«Человек»
(части 1, 2, 3)



«Личная
безопасность»



«Выбор
профессии»



«География»



«Геология»

ПРОСТО О СЛОЖНОМ, ИНТЕРЕСНО О ВАЖНОМ



«Спорт»



«Россия:
православие»



«Россия: физическая
и экономическая
география»



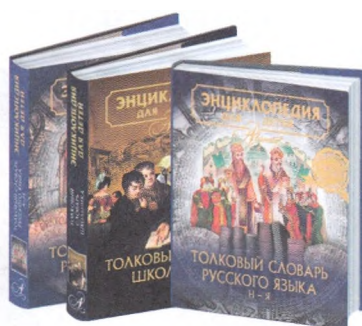
«Российские столицы»,
«Москвоведение»



«Страны.
Народы.
Цивилизации»



«Биология», «Птицы и звери»,
«Домашние питомцы»



«Толковый словарь русского
языка» (части 1, 2),
«Толковый словарь школьника»



«Экология»



«Химия»



«Языкознание.
Русский язык»



«Иллюстрированный
атлас мира»



«Информатика»



«Математика»



«Физика»
(части 1, 2)



«Астрономия»



«Космонавтика»



«Техника»



«Великие
люди мира»



«Универсальный
иллюстрированный
словарь»



«Великая
Отечественная
война»

Научно-популярное издание
ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ДЛЯ ДЕТЕЙ
АСТРОНОМИЯ

**Председатель
редакционного совета**

М. Аксёнова

**Методологические
редакторы
1-го издания тома**

В. Володин
А. Элиович

**Ответственные
редакторы
1-го издания тома**

В. Цветков
И. Лапина

**Ответственный
редактор
2-го издания тома**

Р. Дурлевич

**Научные редакторы
1-го издания тома**

А. Засов
Б. Цветков

**Научные редакторы
2-го издания тома**

А. Засов
В. Сурдин
В. Цветков

**Научный консультант
1-го издания тома**

П. Щеглов

**Редактирование
и корректура**

Е. Тарасова
С. Липовицкая

Бильдредатор

Н. Иванова

**Изготовление
оригинал-макета**

А. Зоткина
Т. Филатова

Художники

Н. Доброхотова
Т. Доброхотова
Е. Дукельская
А. Евдокимов
Д. Жаров
А. Краснов
Н. Краснова
А. Махов
М. Саморезов
В. Челак
А. Шечкин
Ю. Юров

Фотографы

А. Крюков
Ю. Любцов
В. Ромейко
В. Хондырев
А. Юферев

**Подбор
фотоматериалов**

А. Засов
И. Лапина
В. Сурдин
В. Цветков

**Фотоматериалы
предоставлены**

Архивом искусства и истории, Берлин (Archiv für Kunst und Geschichte, Berlin); архивом BAVARIA, Мюнхен (Bavaria Bildagentur GmbH, München); Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA); агентством «Фото ИТАР-ТАСС»; Нижегородским планетарием; Музеем М. В. Ломоносова Российской академии наук (Санкт-Петербург)

Издательство благодарит за помощь в подготовке издания издательство Alinea (Мюнхен).

Особую благодарность выражаем А. Засову, В. Сурдину, В. Цветкову, а также принимавшим активное участие в подготовке 1-го издания С. Пономарёву, В. Курту, К. Порцевскому, С. Широкову.

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

**В серии «Энциклопедия для детей»
вышли в свет тома:**

«Всемирная история», «Биология», «География», «Геология», «История России» (части 1, 2 и 3), «Религии мира» (части 1 и 2), «Искусство» (части 1, 2 и 3), «Астрономия», «Русская литература» (части 1 и 2), «Языкознание. Русский язык», «Математика», «Россия: физическая и экономическая география», «Страны. Народы. Цивилизации», «Техника», «Всемирная литература» (части 1 и 2), «Физика» (части 1 и 2), «Химия», «Экология», «Спорт», «Человек» (части 1, 2 и 3), «Информатика», «Универсальный иллюстрированный энциклопедический словарь», «Российские столицы. Москва и Санкт-Петербург», «Личная безопасность», «История XX века. Зарубежные страны», «Птицы и звери», «Человечество. XXI век», «Выбор профессии», «Космонавтика», «Экономика и политика», «Культуры мира», «Домашние питомцы», «Бизнес», «Великие люди мира», «Толковый словарь русского языка» (части 1 и 2), «Москвоведение», «Древние цивилизации», «История войн», «Толковый словарь школьника», «Языки мира», «История Древнего мира», «История Средних веков», «Россия: православие», «Компьютер», «Иллюстрированный атлас мира», «История Нового времени», «Великая Отечественная война», «Ботаника», «Мифология», «Политика».

**Планируется выпуск
томов:**

«Медицина», «Археология».

**В серии «Самые красивые и знаменитые»
вышли в свет книги:**

«Бабочки мира», «Камни мира», «Цветы мира», «Жители моря», «Замки. Дворцы», «Парусные корабли», «Золото мира», «Храмы. Монастыри», «Куклы мира», «Автомобили мира», «Сады. Парки», «Холодное оружие», «Серебро мира», «Карнавалы. Праздники», «Ароматы мира», «Музеи мира», «Русские храмы», «Птицы мира», «Мифы мира», «Самые красивые места России», «Города мира», «Деньги мира», «Заповедники мира», «Знаки и символы», «Шедевры мировой архитектуры», «Клады. Сокровища», «Ножки мира», «Огнестрельное оружие», «Часы мира», «Шедевры живописи», «Чудеса природы», «Русские усадьбы», «Острова мира», «Ювелирные изделия», «Музеи России», «Самые красивые места Москвы», «100 мест, где надо побывать», «Шедевры мирового искусства», «Величайшие живописцы мира», «Боевые искусства», «Русские иконы», «Вина мира», «Крепкие напитки», «Русские художественные промыслы», «Пиршества, балы, торжества», «Крепости и кремли», «Мода и модельеры», «Рептилии и амфибии», «Суперавтомобили мира», «Главные битвы наполеоновских войн».

**Планируется выпуск
книг:**

«Столицы мира», «Малые города России».

Товарный знак  гарантирует высокий научный и художественный уровень книг.

Загляните на сайт www.avanta.ru

Энциклопедия для детей. Том 8. Астрономия. 2-е изд., перераб.
Книга издаётся в суперобложке.

Подписано в печать 15.02.13. Формат 84×108/16.

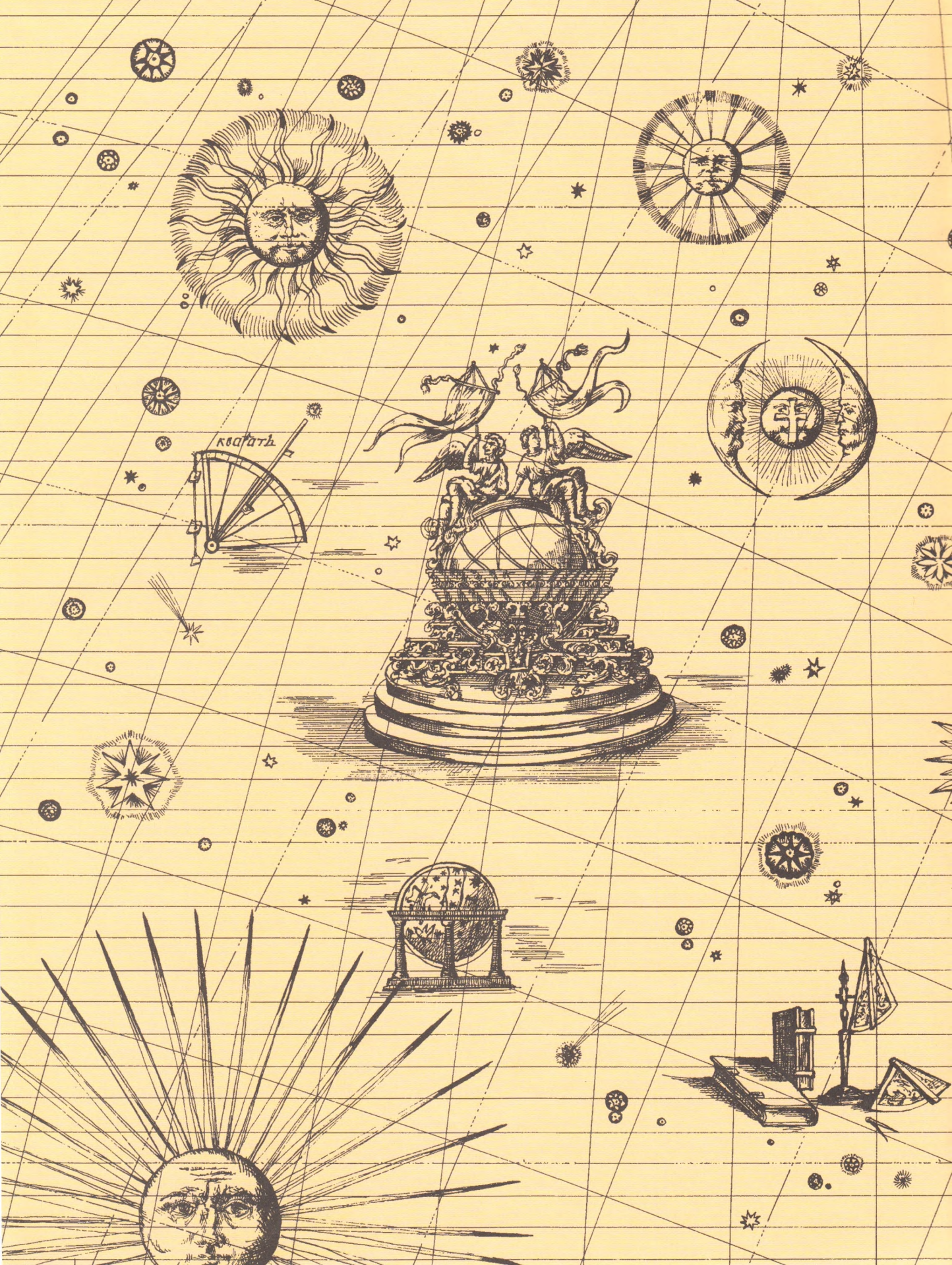
Бумага офсетная. Гарнитура «Гарамон». Печать офсетная. Усл. печ. л. 70,56.

Тираж 2000 экз. Заказ № 259.

ООО «Мир энциклопедий Аванта+». 109004, Москва, Б. Факельный переулок, д. 3, стр. 2.

ООО «Издательство АСТ». 129085, г. Москва, ул. Садовая-Триумфальная, д. 16, стр. 3, пом. 1, ком. 3.

Отпечатано в филиале «Тверской полиграфический комбинат
детской литературы» ОАО «Издательство «Высшая школа»
170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, д. 46
Тел.: +7 (4822) 44-85-98. Факс: +7 (4822) 44-61-51





ISBN 978-5-17-077847-8



9 785170 778478



ISBN 978-5-17-077847-8



9 785170 778478